This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Sci
1080.
40.8

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1874.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,
4003 Quai des Augustins, 55.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1874.

PARIS,
AU SIÉGE PROVISOIRE DE LA SOCIÉTÉ,
SALLE GERSON,
près de la Sorbonne.

1874

Sci 1080.40.8

HARVARD COLLEGE
MAR 12 1921
LIBRARY

Degrand fund

William Grosselestre
Ingénieur

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 9 JANVIER 1874.

PRÉSIDENCE DE M. FIZEAU.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

MM. Laurent, constructeur d'instruments d'optique, Ch. Martin et Armand Lévy, professeur de Physique au lycée d'Orléans, sont élus membres de la Société.

M. d'Almeida expose les résultats obtenus par M. Melsens pour la liquéfaction des gaz absorbables par le charbon. M. Melsens parvient, à l'aide d'un dispositif très-simple, à répéter les expériences classiques de Faraday; à cet effet, il fait absorber à froid le gaz qu'on veut liquéfier par du charbon soigneusement purifié; ce charbon est placé dans un long tube présentant une courbure et qu'on scelle à ses deux extrémités après l'absorption du gaz. Par l'action d'une chaleur modérée, le gaz absorbé se dégage et vient se condenser dans la courbure, préalablement refroidie dans un mélange réfrigérant.

Un de ces tubes, contenant du cyanogène, fonctionne devant les membres de la Société et fournit une dizaine de centimètres cubes de cyanogène liquide.

Une discussion, à laquelle prennent part MM. Bertin, Lissajous, Le Blanc et Fernet, s'engage sur la relation ordinairement acceptée

sur la proportionnalité du pouvoir absorbant du charbon pour un gaz à la solubilité de ce gaz dans l'eau. La conclusion ressort des expériences de M. Melsens : cette loi n'est pas exacte; la divergence la plus grande est relative au chlore, qui est loin d'être le plus soluble dans l'eau et qui est absorbé par le charbon beaucoup plus que tous les autres gaz.

Il est ensuite procédé à l'élection d'un vice-président, en remplacement de M. Bertin, vice-président, qui passe président pour l'année 1874, conformément aux statuts. A la presque unanimité des suffrages, M. Lissajous est nommé vice-président pour l'année 1874.

M. Fizeau, président sortant, en cédant la présidence à M. Bertin, adresse à la Société ses remercîments et résume en quelques mots les résultats intéressants obtenus depuis la fondation de la Société, et les progrès qui restent encore à accomplir. Ces paroles sont accueillies dans l'auditoire par des marques de vive sympathie.

La séance continue sous la présidence de M. Bertin, qui adresse également ses remercîments à la Société.

Il est procédé ensuite à l'élection d'un vice-secrétaire, en remplacement de M. Cornu, qui devient secrétaire pour l'année 1874, conformément aux statuts. A une très-grande majorité, M. Mascart est élu vice-secrétaire pour l'année 1874.

M. d'Almeida, secrétaire général, lit, au nom de M. Philippon, trésorier de la Société, momentanément empêché, un aperçu des comptes de l'année échue et du budget de l'année 1874.

Les comptes détaillés seront présentés prochainement à l'approbation de la Société, après avoir été vérifiés par trois membres, conformément aux statuts.

On procède à l'élection de ces trois membres : MM. Baron, Bourget et Moutier sont élus à une grande majorité.

Enfin la Société vote, par assis et levé, sur la proposition faite par le bureau, de proroger d'une année les pouvoirs du Conseil d'administration, nommé il y a quelques mois seulement. La proposition est adoptée.

La séance est levée à 9 heures et demie.

SÉANCE DU 23 JANVIER 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

MM. Aubouy, professeur au collége de Pézenas; Bourdon, ingénieur mécanicien; Barthélemy, professeur au lycée de Toulouse, et M. Blavier, inspecteur du télégraphe, sont élus membres de la Société.

M. Marey expose les résultats de ses recherches sur l'analyse et la synthèse des conditions mécaniques du vol des oiseaux. Il décrit en particulier les expériences qu'il a entreprises pour démontrer l'inégale résistance produite par l'air sur l'aile de l'oiseau, lorsque l'oiseau est au repos et qu'il est animé d'une certaine vitesse. Dans le premier cas, la résistance paraît trois fois moindre encore que dans le second. Il décrit ensuite un petit chronographe enregistreur qui transmet, à l'aide d'un courant électrique, un mouvement vibratoire à telle distance et dans telles conditions que l'on veut.

M. Mascart présente deux cathétomètres, l'un de précision médiocre construit par M. Golaz; l'autre de précision construit par M. Brünner. Le principal perfectionnement de ce dernier consiste dans l'équilibre du chariot mobile à l'aide d'un poids fixe, par l'intermédiaire d'un double cordon et de deux poulies.

M. Lissajous, à propos d'une communication académique, rappelle divers résultats relatifs à ses recherches sur l'obtention du nombre absolu de vibrations d'un son; il donne quelques détails sur les précautions nécessaires dans l'emploi de la méthode optique, causées par l'extrême sensibilité de la méthode. Il indique divers moyens d'y remédier et appelle l'attention des acousticiens sur l'entretien électrique des diapasons, suivant la méthode de M. Mercadier.

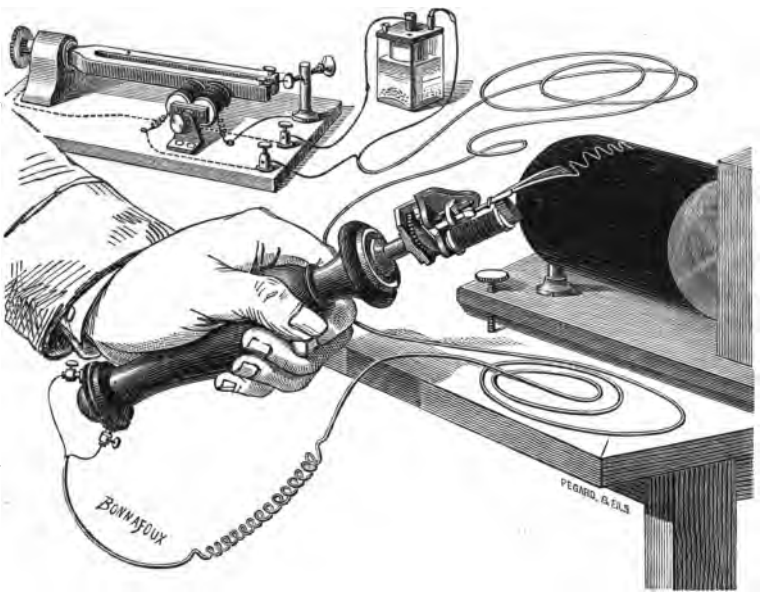
La séance est levée à 9 heures et demie.

Note sur un nouveau chronographe; par M. E. Marey.

Duhamel, en imaginant l'emploi du diapason inscripteur pour mesurer les intervalles de temps de courte durée, a ouvert une voie nouvelle à la Physique, à la Physiologie, à la Balistique, etc. On peut, au moyen de cette admirable méthode, estimer des durées qui n'excèdent pas $\frac{1}{25000}$ de seconde.

Plus tard, MM. Lissajous, Helmholtz, Regnault ont réussi à entretenir électriquement les vibrations du diapason et à recueillir des traces chronographiques d'une durée illimitée; tout récemment enfin, M. Mercadier a réduit à une grande simplicité le diapason

Fig. 1.



chronographe entretenu par un courant électrique. Il semblait que cette méthode de Duhamel fût arrivée à son dernier perfectionnement; cependant, quand on emploie la méthode graphique à la détermination de plusieurs actes simultanés, on se trouve souvent fort embarrassé pour se servir du diapason chronographe, que son volume considérable rend fort incommode lorsqu'il faut, dans une

même expérience, rassembler, aussi près que possible les unes des autres, plusieurs pointes écrivantes.

Ces raisons m'ont engagé à construire un chronographe aussi maniable que possible, et j'ai adopté la disposition représentée dans la *fig.* 1.

On voit, dans cette figure, le chronographe tenu à la main, tandis que le style vibre et trace sur un cylindre enfumé. La partie essentielle de l'instrument n'a pas plus de 6 centimètres de long sur $2\frac{1}{2}$ de largeur; le manche dont la figure permet de fixer les dimensions peut être réduit autant que l'exigeraient les besoins spéciaux de l'expérimentateur.

Trois parties distinctes constituent l'appareil : une pile, un diapason interrupteur et le chronographe. Cette dernière partie, que j'ai seule à décrire, consiste en un style effilé, fixé à l'extrémité d'une lame d'acier et muni d'une petite masse de fer doux. Si le style est destiné à inscrire le centième de seconde, il faut que la lame d'acier qui le porte ait une longueur déterminée. A cet effet, la lame est saisie dans un étau mobile qu'une vis de réglage permet de déplacer de manière à changer la longueur de la partie vibrante. A côté du style armé d'une petite masse de fer doux est un petit électro-aimant qui en entretient les vibrations en produisant une série d'attractions renouvelées cent fois par seconde.

Il faut donc qu'un courant électrique soit envoyé cent fois par seconde dans le petit électro-aimant qui agit sur le style; c'est à cela qu'est employé le diapason interrupteur.

Au dernier plan, sur la figure, on voit une pile dont l'un des fils se rend à un diapason de cent vibrations par seconde, semblable à ceux que M. Mercadier emploie directement comme chronographes. Ce diapason n'a ici d'autre rôle que d'interrompre le courant dans le circuit de la pile. Après avoir traversé l'interrupteur, le fil électrique s'accole à l'autre fil de la pile et tous deux, isolés l'un de l'autre, cheminent dans un câble flexible, pénètrent dans le manche du chronographe et se terminent chacun dans l'un des bouts de la bobine électromagnétique, dont l'action entretient les vibrations du style écrivant.

Si l'appareil est réglé de façon que le style du chronographe ait des vibrations propres de même nombre que celles du diapason, aussitôt que le circuit de la pile est fermé, on voit le style du chro-

nographe vibrer à l'unisson; mais si le style du chronographe n'est pas soigneusement accordé pour le nombre de vibrations que le diapason exécute, celui-ci vibre seul. Il suffit alors d'un léger tâtonnement pour amener, au moyen de la vis de réglage, le style au nombre voulu de vibrations; aussitôt on le voit entrer en mouvement, et ses vibrations durent tant que la pile conserve une énergie suffisante, c'est-à-dire indéfiniment.

Un même chronographe peut donner à volonté différents nombres de vibrations par seconde; il faut alors prendre, comme interrupteurs, des diapasons du nombre que l'on veut obtenir, et régler le chronographe à l'unisson de l'interrupteur employé.

Enfin on peut, avec un même interrupteur, donner au chronographe des nombres de vibrations qui varient du simple au double. Ainsi, avec un diapason de 100, on peut faire vibrer le chronographe deux cents fois par seconde; il suffit, pour cela, d'accorder le style à l'octave aiguë du diapason.

Le chronographe m'a permis d'exécuter certaines expériences où l'emploi direct du diapason eût été impossible. Grâce à la longueur du câble qui relie l'appareil à la pile et à l'interrupteur, on peut reléguer aussi loin qu'on veut ces pièces volumineuses, tandis que le style effilé du chronographe trouve aisément à s'insinuer au milieu des différents appareils qui doivent, avec lui, tracer sur le même cylindre. Enfin, dans certains cas, où il s'agissait de mesurer des vitesses, j'ai pu imprimer au chronographe des mouvements rapides et le faire tracer sur des surfaces immobiles. Ce genre d'expérience eût été absolument irréalisable avec l'emploi direct du diapason.

SÉANCE DU 13 FÉVRIER 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Laurent décrit un nouveau saccharimètre perfectionné sur le principe du saccharimètre à pénombre. Les points sur lesquels portent les perfectionnements sont les suivants : 1° la lumière de la

soude est dépouillée de ses rayons violets par transmission à travers une petite plaque de bichromate de potasse; 2° le champ de l'instrument présente, comme dans le saccharimètre à pénombre, deux moitiés offrant deux plans de polarisation...; l'angle de ces deux plans est variable par l'emploi d'une lame biréfringente atteignant la teinte jaune et occupant la moitié du champ; 3° une vis tangente permet le réglage de zéro avec une grande précision.

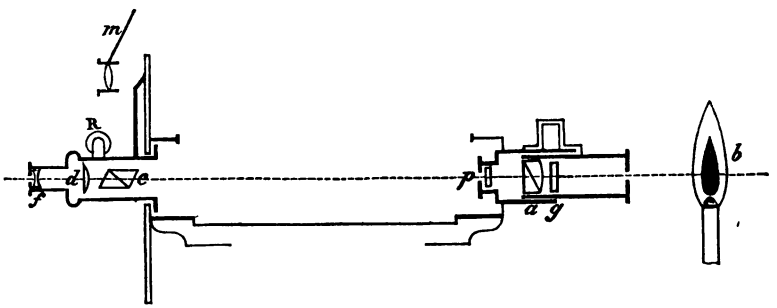
M. Bontemps décrit ses expériences sur l'écoulement de l'air dans les tuyaux de petit diamètre. L'assimilation des lois de cet écoulement avec les lois des courants électriques le conduit à une série d'expériences qui confirment le point de vue auquel il s'est placé. Les points les plus saillants de cette étude sont l'assimilation de la *perte de charge* le long d'un tuyau à la diminution du potentiel électrique le long d'un circuit; l'analogie de l'électromètre avec le manomètre, etc., etc. Enfin l'assimilation de la conductibilité calorifique des conduits au point de vue dialectique des corps isolants, c'est-à-dire l'analogie des phénomènes de perturbations produits dans les conduits aux phénomènes électriques observés dans les câbles.

La séance est levée à 9 heures et demie.

Nouveau saccharimètre; par M. Laurent.

Tout saccharimètre se compose d'un polarisateur *a* (*fig.* 1) placé devant une flamme *b* et à une certaine distance; d'un analyseur *c*,

Fig. 1.



armé d'une petite lunette *df*. Entre les deux se place la dissolution

qui a la propriété de faire tourner le plan de polarisation des rayons qui la traversent.

On peut diviser les saccharimètres en deux groupes : l'un, dans lequel le sucre est compensé par du quartz, comme dans le saccharimètre Soleil, et dont, par suite, l'emploi est restreint; l'autre, dans lequel on mesure directement l'angle de rotation et qui s'applique à toutes les substances. Les instruments exigent alors l'emploi d'une lumière monochromatique.

Je citerai le saccharimètre de Wild; celui à pénombres, que MM. Cornu et Duboscq ont construit en se fondant sur l'emploi du prisme Jellett.

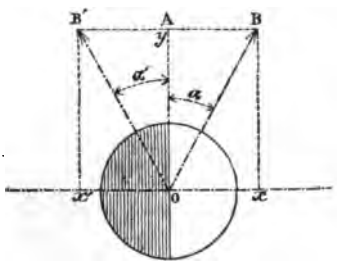
Le point capital, dont dépend surtout la grande précision d'un instrument, consiste dans la disposition particulière qui permet d'apprécier, le plus exactement possible, le moment de l'extinction totale ou partielle.

Diverses dispositions plus ou moins compliquées, ou plus ou moins précises, ont été réalisées : je citerai la plaque à deux rotations et la teinte sensible de M. Soleil ; la bilame de spath de M. Prazmowski, qui supprime la teinte sensible; le prisme de Senarmont et celui de M. Jellett, etc.

La disposition toute nouvelle que j'emploie, dans l'appareil représenté (*fig.* 1) en coupe longitudinale, consiste en ceci ; le système polarisant est composé de deux parties distinctes :

1° Un polariseur ordinaire a, nicol ou prisme biréfringent, pouvant tourner ;

Fig. 2.



2° Un diaphragme fixe p, divisé en deux moitiés, dont une seule (*fig.* 2) est recouverte par une lame mince de gypse ou de quartz parallèle à l'axe et ayant l'épaisseur dite *d'une demi-onde.*

Placée à 45 degrés du plan de polarisation, entre deux nicols tournés à l'extinction, elle donne le jaune correspondant à la raie D du sodium.

L'explication suivante du rôle de cette lame mérite un peu d'attention.

La *fig.* 2 représente le diaphragme *p* (*fig.* 1) agrandi, et tel qu'on le voit dans la lunette. La moitié gauche est recouverte par la lame de quartz dont l'axe est parallèle à la ligne de séparation OA, et la moitié droite laisse passer, sans la dévier, la lumière polarisée par le polariseur *a* (*fig.* 1).

Je supposerai d'abord le plan de polarisation parallèle lui-même à OA. Si l'on tourne alors l'analyseur *c* (*fig.* 1), on passera progressivement de l'extinction totale au maximum de lumière; mais les deux moitiés du disque seront toujours égales en intensité, exactement comme si la lame n'existait pas.

Cette lame est fixe, mais le polariseur est mobile. Je le fais tourner de manière que sa section principale vienne en OB (*fig.* 2), en faisant avec l'axe OA un angle quelconque α. Soit alors une vibration s'accomplissant dans un plan représenté par sa trace OB. Cette vibration, que je représente en longueur par OB, peut se décomposer en deux autres, l'une Oy, parallèle à l'axe OA de la lame, et l'autre Ox perpendiculaire.

Cette vibration passera sans déviation du côté droit; mais, du côté gauche, elle sera déviée par la lame. L'ordonnée Oy, étant parallèle à son axe, ne changera pas de signe; mais l'abscisse Ox, qui lui est perpendiculaire, viendra en Ox' à 180 degrés, puisque la lame a une épaisseur d'une demi-onde; de sorte que, du côté gauche, la vibration se fera en OB′, faisant avec l'axe OA un angle symétrique α' égal à α.

Si l'analyseur a sa section principale perpendiculaire à OB, il y aura extinction totale pour le côté droit, mais partielle pour le côté gauche, et réciproquement.

Quand elle sera perpendiculaire à l'axe OA, il y aura extinction partielle pour les deux côtés, et égalité de tons, puisque $\alpha = \alpha'$. En laissant l'analyseur fixe dans cette position, on peut, en tournant le polariseur, faire varier α de zéro à 45 degrés; on passe alors progressivement de l'extinction totale au maximum de lumière, et les deux côtés restent égaux entre eux.

Cet appareil donne donc d'une manière simple la solution générale de la question, à savoir, de rendre variable l'angle des sections principales de chacune des deux moitiés du diaphragme *p*, ce qui peut offrir certains avantages.

On peut d'abord faire facilement l'étude de l'angle fixe le plus convenable à donner dans des cas bien déterminés.

Pour les recherches, je ferai remarquer qu'il n'y a pas, à proprement parler, d'angle fixe particulier ; car la précision dépend de deux choses qui tendent à se nuire : 1° un angle très-petit ; 2° beaucoup de lumière. Or plus l'angle est faible, plus l'égalité de tons se fait près de l'extension totale, et moins il passe de lumière ; alors, si l'on a affaire à une dissolution plus ou moins décolorée, et qui absorbe par conséquent plus ou moins de lumière, il ne restera presque plus rien : il faudrait donc augmenter l'intensité absolue de la lumière, ce qui est difficile, ou plutôt augmenter l'angle, ce qui est facile avec cet appareil. On pourra toujours se placer dans les conditions du maximum d'effet.

Cet appareil présente aussi quelques particularités mécaniques, mais sur lesquelles je n'insisterai pas, telles que les deux divisions, l'une en degrés du cercle, l'autre en centièmes de sucre, placées concentriquement à la partie supérieure et éclairées au moyen d'un miroir *m* (*fig.* 1). Le rappel au zéro est sans jeu, l'appareil équilibré et rendu très-stable, etc.

Du mouvement de l'air dans les tuyaux; par M. Ch. Bontemps.

Lorsqu'une conduite d'air débite à l'état de *régime,* on peut se demander comment varient les diverses pressions, observées avec le manomètre, lorsqu'on *chauffe* un des points. Nous citerons une expérience qui permet de formuler la proposition suivante : *De part et d'autre du point chauffé, la modification dans les pressions est inverse; devant le point chauffé, la pression augmente, derrière ce point elle baisse.*

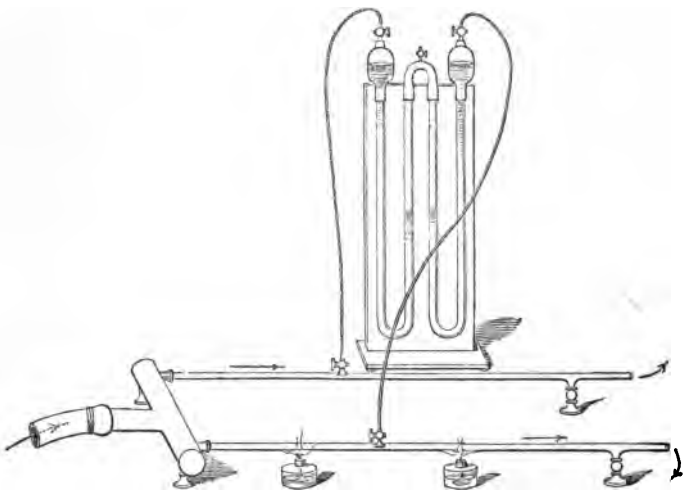
Corollaire. — *Si l'on chauffe également deux points également distants du milieu de la conduite, la pression en ce point*

milieu n'est pas modifiée. L'expérience se fait ainsi : on divise un courant en deux branches égales ; le milieu de chaque branche est en relation avec un côté d'un manomètre différentiel très-sensible, qui peut accuser des différences de pression égales à $\frac{1}{30}$ de millimètre d'eau (1).

Si l'on chauffe un point de l'une des branches, on voit disparaître l'égalité initiale des pressions dans le manomètre différentiel ; le sens de la déviation est conforme à l'énoncé ci-dessus. Lorsqu'on chauffe également deux points de la même branche, également distants du point d'attache de la communication avec le manomètre, on rétablit l'équilibre.

La *fig.* 1 indique suffisamment la disposition de l'appareil.

Fig. 1.



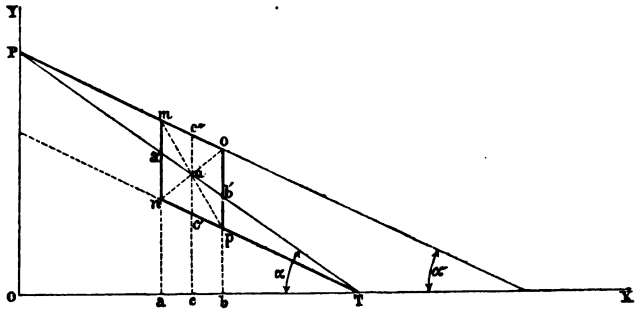
Nous ferons remarquer l'analogie de l'expérience avec celle qui consiste à introduire une *force électromotrice* dans un circuit galvanique ; la modification apportée à la distribution des tensions électroscopiques (conséquence de la loi d'Ohm) est de même nature que le changement des pressions dans le courant d'air.

Nous allons construire la figure qui traduit l'énoncé de la proposition, en faisant l'hypothèse de la distribution régulière de la

(1) Le manomètre différentiel est celui de M. Kretz.

perte de charge, correspondant à celle de la densité constante dans toute l'étendue du circuit. Si l'on rapporte (*fig.* 2) à deux axes OX,

Fig. 2.



OY, les positions des divers points de la conduite de débit et les pressions (tracé graphique d'Ohm, figurant sur les abscisses les résistances et sur les ordonnées les tensions), on prendra OT égal à la *longueur réduite* du tuyau (y compris celle qui correspond à l'analogue de la résistance de la pile), OP égal à la force aéromotrice, excès de la tension de la pompe sur la pression atmosphérique.

L'inclinaison de PT mesurera le *débit* (quantité en poids par seconde).

1° Supposons qu'on chauffe *a* seul : l'application de la règle donne sur le tuyau la distribution des pressions, figurée par la ligne brisée P*m a' n*T (P*m* est parallèle à *n*T).

2° Si l'on chauffe *b* (seul), la figure sera P*o p*T.

Dans le premier cas, la pression en *c* (milieu de OT) sera *cc'*; dans le second cas, la pression en *c* sera *cc''*.

Il est évident sur la figure que la position *u* correspondant au chauffage simultané en *a* et en *b* se trouve sur la droite PT.

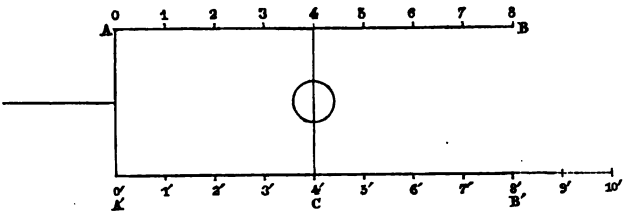
L'examen de la figure montre, en outre, qu'en chauffant une portion de la conduite, on diminue le *débit* (l'angle α' est plus petit que α), ce qui est conforme à l'expérience.

On peut rendre compte de la modification des pressions par une explication empruntée à la méthode de raisonnement qui convient à l'étude des courants galvaniques.

Représentons par les lignes AB, A'B' (*fig.* 3) les deux *résistances* égales des circuits dérivés. Les chiffres placés au-dessous de ces

lignes expriment en *unités de résistance* la résistance de la portion de tube (ou plutôt de la gaîne de gaz) correspondante [1].

Fig. 3.



Donnons une valeur arbitraire à la tension (pression) commune aux deux points A et A', soit 50 *unités de tension;* de même, soit 20 *unités* (valeur arbitraire) la tension commune aux points B et B'. La différence de tension de A en B, ou de A' en B', est de (50 — 20) = 30 unités, de telle sorte que la tension originelle en 4 et en 4' est 15 unités. Chauffons 1', suivant notre donnée, nous ne modifions pas la différence des tensions extrêmes, et la résistance A' B' s'accroît d'une certaine quantité de sa valeur totale; supposons pour la clarté que l'accroissement soit justement de 1 unité de résistance.

Tous les points, tels que 2', 3',..., 7', 8' reculent d'un intervalle égal, puisque l'accroissement équivaut à l'insertion d'une longueur égale à l'unité derrière le point 1', et la conduite A'B' doit être remplacée pour le raisonnement par la ligne 0'9'; le point 4' notamment, où se fait l'observation du manomètre, doit être considéré comme reporté en 5' (*fig.* 4), auquel correspond, suivant un calcul facile, une tension de $13,33 = 30 \times \frac{4}{9}$, ce qui est conforme à l'énoncé : *Quand on chauffe un point, la pression diminue derrière ce point.*

Continuons à chauffer 1', chauffons aussi 7', nous ajouterons une nouvelle unité à la résistance 0' - 9', qui deviendra 0' - 10'. Les

---

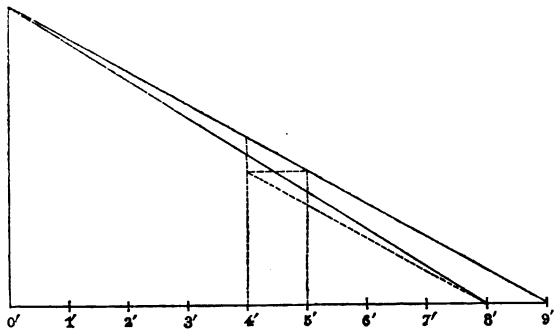
[1] Nous faisons ici une application littérale de la loi d'Ohm, il faut entendre que la résistance est une propriété de la masse du fluide et qu'elle est représentée par des longueurs variables d'un tube type dont la section serait égale à l'unité.

Cette idée a été développée dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* (mai 1874).

points derrière 7′ seuls devront être transportés suivant le mode de la *fig.* 4.

Les points devant 7′, et notamment 5′, où se fait l'observation du manomètre, resteront à leur place. La pression en 5′ est évidem-

Fig. 4.



ment 15; par conséquent, nous justifions le corollaire : *Si l'on chauffe également deux points également distants du milieu de la conduite, la pression en ce point milieu n'est pas modifiée.*

Nous indiquerons prochainement d'autres expériences montrant que l'analogie des phénomènes de régime d'un courant d'air et d'un courant électrique peut être étendue encore, et que les méthodes de mesure de la télégraphie électrique conviennent à la détermination de l'*intensité* d'un courant d'air.

L'expérience relatée ici est destinée à fournir la clef de la modification que subit la loi élémentaire du phénomène (loi d'Ohm), quand tous les points sont *chauffés,* ce qui est le cas d'une conduite plongée dans un milieu qui a une température propre, c'est-à-dire, le cas normal. Pour les courants électriques, le problème a été traité à fond par la méthode des dérivations : nous l'appliquerons au courant d'air.

SÉANCE DU 27 FÉVRIER 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures précises.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Jungfleisch fait connaître les recherches par lesquelles il a réalisé la synthèse directe des acides tartriques doués du pouvoir rotatoire. D'après certaines idées émises en premier lieu par Biot et pratiquées par beaucoup d'autres savants, on considérait les substances douées du pouvoir rotatoire comme produites seulement dans les organismes vivants et par des actions que la science serait impuissante à provoquer. M. Jungfleisch, en partant du gaz oléfiant, composé facile à obtenir par synthèse, l'a transformé en acides tartriques optiquement inactifs; puis il a dédoublé le produit ainsi obtenu en deux acides symétriques entre eux, nettement caractérisés par les phénomènes optiques et cristallographiques, doués, l'un du pouvoir rotatoire à droite, l'autre du pouvoir rotatoire à gauche. L'acide droit est identique à l'acide naturel. Il fait connaître quelques résultats nouveaux, obtenus par l'application de ses méthodes à d'autres séries de composés organiques.

M. Cornu résume ensuite quelques-uns des travaux exécutés par la Commission du passage de Vénus, en vue de l'obtention d'images photographiques du Soleil. Il fait un exposé théorique de la question; il montre que le moment du contact peut être obtenu avec une grande exactitude et met sous les yeux de la Société, en les expliquant, les appareils qui seront employés par les observateurs.

La séance est levée à 10 heures.

Sur la transformation de l'achromatisme optique des objectifs en achromatisme chimique; par M. A. Cornu.

Je m'étais proposé le problème suivant à l'occasion des travaux préparatoires de la Commission du passage de Vénus :

Transformer l'objectif d'une lunette astronomique, achromatisée pour les rayons visibles, de manière à obtenir, au foyer principal, des épreuves photographiques dont la netteté soit comparable à celle des images optiques directes.

Des études antérieures sur la photographie du spectre ultra-violet [1] m'avaient conduit à examiner la répartition des foyers des diverses raies du spectre dans une lunette de spectroscope, formée avec un objectif achromatique. Une graduation en millimètres, tracée sur le tube de tirage d'une semblable lunette, permet d'observer les faits suivants : si l'on note successivement le tirage de la lunette, après avoir mis *au point* avec beaucoup de soin l'image des principales raies du spectre projetées sur le réticule, on remarquera que la distance focale diminue d'abord depuis la raie A jusqu'aux raies B, C, D; il y a un minimum de distance focale vers la raie *b*, puis augmentation à partir de cette région; la raie F forme son foyer à peu près à la même distance que D, l'augmentation devient rapide à partir de G, si bien que le foyer des raies de l'extrémité visible du violet se forme en arrière du foyer de l'extrémité rouge. La photographie permet d'aller beaucoup plus loin, et l'on peut suivre la marche très-rapidement croissante des distances focales des radiations ultra-violettes.

De ces faits résulte la remarque suivante : la répartition des foyers de la région violette dans un objectif achromatisé est précisément inverse de celle qu'aurait produite un objectif non achromatisé; en effet, les rayons violets, étant les plus réfrangibles, ont une distance focale plus courte que les rayons rouges, lorsqu'on les fait réfracter à travers une lentille convergente de crown-glass :

---

[1] *Voir* le *Compte rendu de l'Association française,* Congrès de Bordeaux, t. I, p. 300.

par exemple, l'addition d'une lentille divergente de flint-glass, qui tend à ramener les foyers de toutes les radiations dans un même plan, produit donc une action plus énergique sur les rayons violets que sur les rayons rouges, puisqu'elle allonge le foyer des premiers d'une plus grande quantité que celui des derniers. Il en résulte que, si par un moyen ou par un autre on diminue l'influence de la lentille divergente, on modifie la répartition des foyers des diverses radiations, telle qu'elle a été décrite plus haut, dans un sens qu'on peut aisément prévoir. Le foyer des rayons violets étant relativement moins repoussé que celui des rayons rouges (relativement au cas ordinaire), les rayons dont la distance focale est minimum se rapprochent du côté violet; l'achromatisme optique est alors altéré : en continuant à diminuer l'influence du verre divergent, on peut parvenir à placer la distance focale minimum dans la région comprise entre G et H. On obtient alors l'achromatisme chimique; car cette région est, pour les radiations chimiques, l'analogue de la région du spectre visible comprise entre D et F, par l'énergie des impressions qu'elle produit sur les substances photographiques, autrement dit, le *centre de gravité* des radiations actiniques est situé vers le milieu de l'intervalle G et H; comme dans le spectre visible ce point tombe aux environs de la raie *b*.

Quant au moyen de diminuer l'influence du verre divergent de flint-glass, le plus facile consiste simplement à l'écarter du verre convergent de crown-glass. On se rend compte aisément de cet effet en poussant la condition à l'extrême; en effet, si l'on plaçait le verre divergent au foyer même du verre convergent, son influence serait nulle; c'est en le rapprochant que son action augmente, jusqu'au moment où les deux verres sont en contact. Évidemment, dans une position intermédiaire, l'effet du flint-glass sera intermédiaire : *on est donc assuré, par un écartement convenable des verres, d'arriver à l'achromatisme chimique;* car on peut parcourir tous les degrés de répartition relative des foyers, depuis l'achromatisme optique qu'on peut considérer comme un achromatisme chimique *dépassé*, jusqu'au *non-achromatisme* ([1]).

([1]) J'ai vérifié expérimentalement toutes ces déductions à l'aide d'un appareil assez simple : on dispose un objectif dont les verres peuvent être écartés à des distances

On peut donner une démonstration tout à fait élémentaire de cette méthode d'achromatisme chimique par écartement des verres, en supposant les lentilles sans épaisseur.

Soient p et p' les distances de deux foyers conjugués d'une lentille convergente formée d'un verre dont l'indice soit n pour un rayon donné; on a la formule bien connue

$$(1) \qquad \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right) = (n-1)P,$$

en désignant, pour abréger, la somme des courbures par P.

La formule analogue pour une lentille divergente sera

$$(2) \qquad \frac{1}{q} - \frac{1}{q'} = (n'-1)Q.$$

Si ces deux lentilles sont accouplées au contact (comme dans les

---

variables (jusqu'à 2 ou 3 pour 100 de la distance focale principale); en avant de cet objectif, on place un prisme dont l'angle est de 8 à 12 degrés, suivant la réfrangibilité de la matière, et dont l'une des faces est argentée, de manière à fonctionner à la fois comme prisme d'angle double et de miroir renvoyant les rayons dans la même direction. En arrière de l'objectif, on place un oculaire positif et un réticule portés par un tirage avec graduation : l'axe de cet oculaire est légèrement incliné sur l'axe principal de l'objectif, de manière à laisser place à une fente éclairée par la lumière du soleil ou d'une étincelle d'induction. Il est facile maintenant de se rendre compte du fonctionnement de l'appareil. La fente étant disposée verticalement au-dessous de l'oculaire, dans le plan focal principal de l'objectif, les rayons émanés de cette fente sont rendus parallèles après leur passage à travers l'objectif, réfractés par la première face du prisme, réfléchis par la seconde, réfractés une seconde fois (dans le sens de la duplication de la dispersion), puis ramenés sur l'objectif : le prisme n'altérant nullement le parallélisme des rayons si ses faces sont bien planes, les rayons vont converger dans le plan focal principal en un point situé au-dessus de la fente : c'est là qu'on place le réticule, entraîné par le mouvement commun du tube de tirage et de l'oculaire. En donnant au prisme un mouvement de rotation autour de son arête, on peut amener chaque raie sous le fil vertical du réticule et la mettre exactement au point sur ce fil; on peut donc ainsi mesurer la position relative des foyers de toutes les raies. On répète la même série d'observations pour les distances convenablement choisies des deux verres, et l'on vérifie les modifications successives d'achromatisme prévues par l'exposé précédent. Après ce résumé, il est facile de comprendre comment ces expériences constituent une véritable méthode optique pour l'étude rigoureuse de l'achromatisme.

Il n'est pas inutile d'ajouter que l'écartement des verres produit une diminution notable de la distance focale principale; avec les verres usités d'ordinaire, la variation de distance focale est sept ou huit fois plus grande que la variation de la distance des verres.

objectifs ordinaires), on calculera la distance focale principale φ du système, en faisant $p = \infty$, $q = p'$, $q' = \varphi$.

Si les deux verres sont écartés à la distance a, il faudra substituer $p = \infty$, $p' + a = q$, $q = \varphi$; et, en remplaçant la lettre p' par f, pour rappeler que p' est la distance focale principale du verre convergent, on aura

$$(3) \qquad \frac{1}{f-a} - \frac{1}{\varphi'} = (n'-1)\,Q,$$

avec

$$(4) \qquad \frac{1}{f} = (n-1)\,P.$$

L'écartement des verres doit rester dans des limites très-étroites (1 à 1 $\frac{1}{2}$ pour 100 de la distance focale totale, environ $0{,}02f$ à $0{,}03f$).

On peut écrire ainsi le terme

$$\frac{1}{f-a} = \frac{1}{f\left(1-\frac{a}{f}\right)} = \frac{1}{f}\left(1-\frac{a}{f}\right)^{-1}.$$

La formule (3) devient, après substitution de la valeur (4) de f,

$$(5) \qquad \frac{1}{\varphi'} = \left(1-\frac{a}{f}\right)^{-1} P(n-1) - Q(n'-1).$$

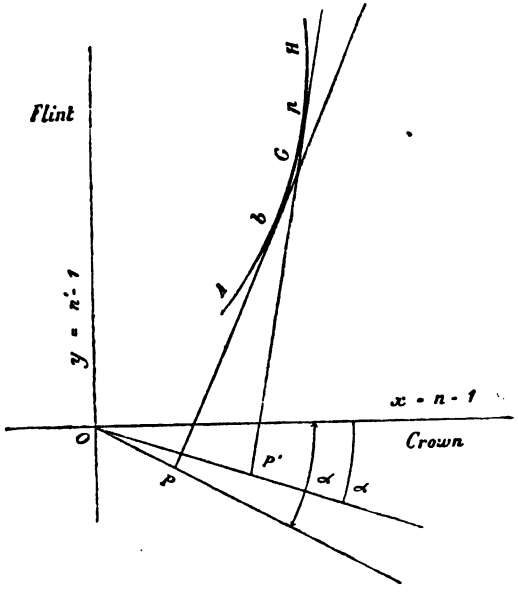
Pour interpréter cette équation d'une manière toute géométrique, nous aurons recours à la considération d'une courbe qui joue un grand rôle dans la représentation graphique des conditions d'achromatisme, et que pour cette raison j'appellerai *courbe d'achromatisme*.

On l'obtient en construisant les points dont l'abscisse $x = n - 1$ et l'ordonnée $y = n' - 1$ ont respectivement pour valeurs les indices diminués de l'unité des deux verres, indices correspondant à la même couleur, ou mieux à la même raie.

Ainsi, les points A, b, G, H de la courbe ci-jointe (*fig.* 1) ont été formés en prenant pour abscisses les indices, moins l'unité, du crown-glass correspondant aux raies A, b, G, H, et pour ordonnées les indices moins l'unité du flint-glass correspondant aux mêmes raies. La substitution des valeurs numériques montre

qu'avec ces genres de verres la courbe tourne sa convexité vers l'axe des x (crown-glass), et que la direction moyenne de l'arc de courbe

Fig. 1.



passe au-dessous de l'origine et qu'elle fait un angle d'environ 60 degrés avec l'axe des x.

La condition d'achromatisme représentée par l'équation (5) est que, pour toutes les valeurs correspondantes de x et de y, la variation de φ soit aussi petite que possible. Substituant

$$x = n - 1, \quad y = n' - 1,$$

il vient

$$\frac{1}{\varphi'} = \left(1 - \frac{a}{f}\right)^{-1} \mathrm{P}x - \mathrm{Q}y,$$

expression de la forme

$$x \cos\alpha - y \sin\alpha,$$

ce qui conduit, par identification, à

$$(6) \qquad \frac{\cos\alpha}{\left(1 - \frac{a}{f}\right)^{-1} \mathrm{P}} = \frac{\sin\alpha}{\mathrm{Q}} \quad \text{ou} \quad \operatorname{tang}\alpha = \frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{P}}\left(1 - \frac{a}{f}\right).$$

On conclut de cette identification que l'inverse de la distance focale résultante φ' est proportionnelle à la projection du rayon vecteur de la *courbe d'achromatisme*, sur une droite faisant avec l'axe des x un angle égal à $-\alpha$. Géométriquement, la condition d'achromatisme devient celle-ci : déterminer la direction telle que la projection de l'arc de courbe, considérée dans toute l'étendue qui correspond aux indices des rayons utiles, soit minimum.

Il est évident que cette condition sera remplie, si l'on projette suivant la droite qui joint les deux extrémités de la courbe, ou même si l'on projette l'arc suivant la tangente au point correspondant à la raie b, qui, dans les rayons visibles, représente ce que symboliquement j'ai appelé le *centre de gravité* du spectre visible.

Pour l'achromatisme des rayons chimiques, la direction de la projetante est celle de la tangente en un point μ situé vers le milieu de l'intervalle GH. Comme la courbe est convexe, cette tangente fait un angle plus grand que le précédent avec l'axe des x : donc α doit diminuer.

L'équation (6) montre qu'en effet, pour diminuer α, il faut augmenter a. Donc l'écartement des verres transforme bien l'achromatisme des rayons visibles en achromatisme chimique. La règle expérimentale définie plus haut est donc démontrée.

Le raccourcissement correspondant du foyer est également évident; car la distance OP′, inverse de φ', est plus grande que OP.

En résumé, étant donnée une lunette astronomique achromatique dont l'objectif est formé d'une lentille convergente de crown-glass et d'une lentille divergente de flint-glass, on la transformera en un objectif susceptible de donner des images photographiques d'une netteté aussi satisfaisante que possible, en écartant les deux lentilles d'une quantité dépendant de la nature de ces deux verres. Avec les verres usités en optique, un écartement de $1\frac{1}{2}$ pour 100 de la distance focale de l'objectif est suffisant, et le foyer chimique est très-voisin du foyer optique.

Quant aux aberrations produites par cet écartement des verres, je me suis assuré, par expérience, qu'ils sont entièrement négligeables. J'ai étudié à ce point de vue plusieurs lunettes de différents foyers, en particulier une excellente lunette de 100 millimètres d'ouverture et de $1^m,40$ de distance focale. Avec un écartement de 15 millimètres des deux verres, j'ai réussi à photographier une échelle

divisée en millimètres, placée à 40 mètres de distance; les traits étaient parfaitement distincts; le rapport des pleins aux vides était bien reconnaissable et l'on pouvait au microscope mesurer avec un micromètre la trentième partie des intervalles. Un relevé micrométrique d'une épreuve très-soignée fait sur une plaque d'argent, d'après le procédé de Daguerre, m'a permis de constater que, sur toute l'étendue de l'échelle qui comprenait près de six cents traits et qui sous-tendait un angle de 45 minutes, il n'y avait aucune déformation systématique.

En résumé, la théorie et l'expérience montrent qu'un objectif bien achromatisé pour les rayons visibles peut être rendu achromatique au même degré pour les rayons chimiques, par un simple écartement des deux verres.

L'écartement le plus convenable doit être cherché par une série d'essais méthodiques : il ne dépasse pas en général $1\frac{1}{2}$ pour 100 de la distance focale principale primitive de l'objectif. On atteint aisément l'écartement qui correspond à une distance focale jouissant de la propriété précieuse de donner à la fois une image visible passable et une image photographique parfaite.

En terminant, je dirai que la méthode de transformation d'achromatisme est générale, et qu'elle peut s'appliquer à la solution de bien des questions de physique, d'astronomie et de micrographie.

SÉANCE DU 13 MARS 1874.

PRÉSIDENCE DE M. LISSAJOUS, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

La parole est donnée à M. Bourget, qui lit le rapport de la Commission chargée de vérifier les comptes de l'année 1873. Après quelques observations, les comptes sont approuvés et des remercîments sont votés au trésorier et au secrétaire général.

M. Mascart expose quelques résultats relatifs à la double réfraction du verre trempé.

La méthode qu'il emploie consiste à plonger dans de l'acide phénique hydraté la lame de verre à étudier. L'acide étant contenu dans une cuve de verre à faces parallèles, le verre est presque invisible dans le liquide par transparence directe, car il a sensiblement la même réfrangibilité et la même dispersion que le liquide. La trempe s'observe en polarisant la lumière incidente et en armant l'œil d'un analyseur.

M. Mascart présente un petit aspirateur construit par M. Golaz. C'est une trompe à eau dont le jeu est analogue à celui de l'injecteur Giffard, et qui, sous une pression de 5 à 6 mètres d'eau, peut raréfier un gaz jusqu'à la pression de 2 centimètres de mercure. Ce genre d'aspirateur rend de grands services dans les laboratoires pour obtenir des écoulements de gaz réguliers, filtrer dans le vide, dessécher les appareils, etc. Il permet de montrer simplement dans un cours l'inégal frottement des gaz, dans leur passage à travers les tubes étroits; il suffit pour cela de prendre un tube de cuivre capillaire comme tube d'aspiration, et d'en plonger l'extrémité successivement dans l'hydrogène, l'air, l'acide carbonique et l'eau : on voit alors le niveau du mercure se maintenir à des hauteurs de plus en plus grandes dans un baromètre qui communique avec la trompe.

M. Lissajous expose une méthode acoustique due à M. Coulier, pour l'examen des cordes à boyaux destinées aux instruments de musique.

Il met ensuite sous les yeux de la Société divers appareils qui lui ont servi à l'étude optique des sons, et en particulier le phonoptomètre.

La séance est levée à 10 heures.

Sur la trempe des verres; par M. Mascart.

L'étude de la trempe et de l'homogénéité des verres présente un intérêt scientifique quand il s'agit de choisir une matière pour la construction d'un objectif, et surtout pour la construction des appareils interférentiels. D'un autre côté, il peut être utile dans

l'industrie d'avoir un procédé rapide pour constater le degré de trempe des verres, afin d'éviter les cas de rupture spontanée qui se présentent quelquefois, même dans les grandes glaces.

On peut sans doute tailler des faces à peu près parallèles dans différentes directions et examiner le verre avec un analyseur et un polariseur; mais cette méthode est longue et ne peut être appliquée que dans des cas très-particuliers. Lorsque mon attention a été appelée sur ce sujet, je me suis rappelé une belle expérience que j'avais vue dans le laboratoire de M. Coulier. Une baguette de verre tordue en tire-bouchon était plongée dans de l'acide phénique rendu liquide par une petite quantité d'eau. La baguette était presque invisible dans le liquide par transparence directe; on l'apercevait bien par un éclairage latéral, surtout à cause des fils et des défauts d'homogénéité du verre. Si un bloc de verre de forme quelconque et bien homogène était ainsi immergé dans un liquide ayant exactement la même réfrangibilité et la même dispersion, le verre disparaîtrait absolument. Ce phénomène a déjà été observé pour certains sels qui ont les mêmes propriétés optiques que les eaux mères dans lesquelles ils cristallisent. L'identité des propriétés optiques est à peu près réalisée pour le verre ordinaire et l'acide phénique; on voit seulement, sur les contours de l'objet immergé, une faible irisation qui tient aux spectres secondaires dus à la différence des dispersions.

Si l'on veut maintenant étudier le verre d'une coulée de glaces, on en découpe un morceau que l'on plonge dans une cuve de verre, à faces parallèles, collées à la gomme et renfermant de l'acide phénique hydraté. En examinant la glace par la tranche on distingue immédiatement tous les fils qu'elle renferme. Pour observer la trempe, il suffit de polariser la lumière incidente à 45 degrés de la lame et d'armer l'œil d'un analyseur.

Si, l'analyseur étant orienté de manière à éteindre la lumière incidente, on interpose la cuve, on voit deux bandes noires parallèles à la surface de la lame et à peu près à égale distance du centre et des bords. Il y a donc dans toute glace coulée et recuite par les procédés industriels deux couches dont la double réfraction et, par conséquent, la trempe sont nulles. Tout étant symétrique par rapport à la normale, la double réfraction des autres régions est évidemment comparable à celle d'un cristal à un axe dont l'axe de cristallisation

coïnciderait avec la normale à la lame. Si l'on place entre la cuve et l'analyseur une lame de spath d'Islande perpendiculaire à l'axe et qu'on incline cette lame autour d'une normale à la glace, on voit les deux bandes noires se rapprocher du milieu. Il résulte de là que la double réfraction du verre étudié est négative dans la zone comprise entre les couches neutres et positive dans les deux zones extérieures.

On peut évaluer le degré de trempe en déterminant l'épaisseur de quartz nécessaire pour annuler la double réfraction. Plaçons, par exemple, entre l'analyseur et la cuve un compensateur à teintes plates, et supposons que ce compensateur soit au zéro, c'est-à-dire ne produise pas de différence de marche, losrque la plaque mobile est au milieu de sa course. Dans ces conditions, les bandes noires ne sont pas déplacées; mais, si l'on fait glisser dans un sens ou dans l'autre la plaque mobile du compensateur, on voit les bandes noires marcher vers le milieu ou vers les bords de la glace. Si le compensateur est gradué, on obtient ainsi la différence de marche due à la trempe. L'expérience indique que les différences de marche produites par le milieu ou par les bords sont à peu près égales et de signes contraires, de sorte que la somme algébrique des doubles réfractions d'une pareille glace est sensiblement nulle. Une bonne glace de commerce, de 10 à 13 millimètres d'épaisseur, donne ainsi, pour une longueur de 20 centimètres, une différence de marche qui varie entre $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{2}$ longueur d'onde. Si la trempe dépasse cette valeur et surtout si elle est irrégulière, le verre est médiocre et risque de se briser dans le travail du polissage. Le verre est tout à fait mauvais quand la différence de marche atteint une longueur d'onde.

Pour donner une idée de l'état moléculaire des verres trempés, il est bon de comparer la double réfraction ainsi produite avec celle que l'on obtient par les actions mécaniques.

Brewster a reconnu depuis longtemps que le verre comprimé acquiert une double réfraction négative. Le milieu d'une glace est donc dans un état analogue à celui que produirait une compression normale ou une dilatation parallèle aux faces; les couches superficielles sont au contraire comparables à une lame de verre soumise à une traction normale à sa surface. D'autre part, Wertheim a montré que la différence de marche produite par la pression ou la traction est proportionnelle à l'effort exercé dans les limites où le

verre peut résister sans écrasement. Il résulte de là que, pour une lame taillée en parallélépipède rectangle et comprimée sur deux faces opposées, la différence de marche due à une pression déterminée est indépendante de la longueur de cette lame, c'est-à-dire du chemin parcouru par le rayon lumineux, et en raison inverse de sa largeur : c'est ce que Wertheim a vérifié par de nombreuses expériences. Il a trouvé ainsi qu'avec le verre à glaces il faut une pression de 165 kilogrammes pour produire une différence de marche d'une longueur d'onde, pour une largeur de 1 centimètre; si l'on suppose que cette lame ait 20 centimètres de longueur, comme celles dont j'ai parlé plus haut, cela correspondrait à une pression de $8^{kg},25$ par centimètre carré, c'est-à-dire d'environ 8 atmosphères. Comme les glaces du commerce donnent une différence de marche environ moitié moindre, il en résulte que la couche centrale et les couches superficielles d'une pareille glace sont dans un état analogue à celui que produiraient une compression centrale et une dilatation superficielle de 4 atmosphères.

Les larmes bataviques, qui sont un cas tout à fait excessif de trempe du verre, donnent des résultats bien plus remarquables. Une larme de 5 millimètres de diamètre environ, observée dans l'acide phénique, montre cinq ou six franges d'un grand éclat; c'est une expérience très-facile à répéter, et la projection de ces courbes colorées avec la lumière de la lampe de Drummond est l'un des plus beaux phénomènes de la polarisation chromatique. La structure d'une larme batavique est complexe; mais, si l'on suppose la goutte parfaitement cylindrique, il est clair que la distribution des pressions dans l'étendue d'une section normale sera déterminée par une série de cercles concentriques. La différence de marche éprouvée par les deux composantes d'un rayon polarisé que parcourt une corde de cette section sera la somme algébrique des effets produits par les différentes couches séparément, et, en examinant le phénomène depuis le bord jusqu'au centre, on peut calculer le détail des actions en chaque point; mais, sans faire aucun calcul, on peut dire qu'une larme batavique est dans un état comparable à celui d'une plaque de verre de même longueur qui donnerait la même différence de marche. Or la pression nécessaire pour produire une différence de marche de cinq longueurs d'onde serait de 825 kilogrammes, et si l'on suppose seulement une longueur de

5 millimètres, la pression par centimètre carré sera de 1650 kilogrammes. L'état moléculaire d'une larme batavique est donc analogue à celui que produirait sur une lame de verre une pression d'environ 1600 atmosphères.

Enfin, si l'on veut étudier des verres plus réfringents, tels que le cristal du commerce ou les flints d'optique, l'acide phénique ne convient plus; on aura recours alors à un mélange de sulfure de carbone avec de l'alcool ou de la benzine. Le liquide ainsi obtenu n'a pas en général la même dispersion que le verre; on aperçoit alors des colorations très-vives dues à des spectres secondaires, mais ces couleurs ne gênent guère pour l'observation que l'on a en vue.

Note sur l'examen des cordes des instruments à archet;

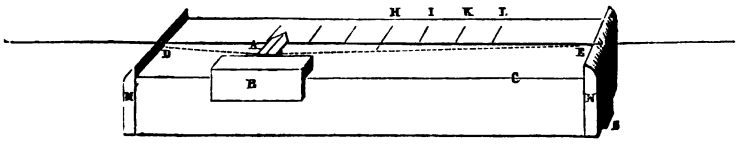
par M. Coulier,
Pharmacien principal de l'Armée.

On sait combien le choix des cordes pour ces instruments est chose délicate. Une corde de bonne apparence extérieure peut cependant donner de mauvais résultats, parce qu'elle n'est pas homogène. Des artistes, quand il s'agit par exemple de choisir une chanterelle de violon, l'essayent de la manière suivante : on saisit entre le pouce et l'index de chaque main une longueur égale à celle qui vibrera sur l'intrument; puis, tendant légèrement cette corde, on la fait vibrer en l'attaquant avec l'annulaire de l'une des mains. Pendant cette vibration, la corde prend l'apparence d'un fuseau dont la teinte est uniforme si la corde est bonne. Si, au contraire, elle est mauvaise, ce fuseau présente des stries longitudinales, qui correspondent aux points où le mouvement vibratoire est ralenti sous l'influence d'une cause quelconque. Cette méthode est certainement bonne et d'une extrême simplicité; la suivante me paraît donner des résultats plus sûrs.

On se procure un prisme rectangulaire en sapin, de 2 mètres environ de long, et dont la section est $0^m,055$ sur $0^m,075$. Au milieu de l'une des faces les plus larges, on pratique une rainure longitudinale de $0^m,014$. Aux deux extrémités se trouvent, d'un côté, un cordier attaché lui-même à une corde de $0^m,1$ environ, et, de l'autre,

un appareil quelconque pour tendre une corde de longueur variable et qui fait partie de l'instrument. La corde à essayer sera fixée convenablement à ces deux parties par ses extrémités.

Fig. 1.



Sur cette grande règle glisse un petit sonomètre en bois massif (*fig.* 1), dont les dimensions sont $0^m,325$, $0^m,07$ et $0^m,05$. La longueur qui vient d'être indiquée correspond à l'intervalle qui sépare les deux sillets M et N placés aux deux extrémités (¹). Entre ces sillets, dont la hauteur est $0^m,01$, se meut un chevalet mobile A, terminé supérieurement en dos d'âne, et dont l'arête supérieure est plus élevée que les sillets de 1 millimètre. Ce chevalet, qui doit se mouvoir bien parallèlement à l'unisson, est guidé par un chapeau B, qui glisse sur l'arête C du sonomètre. Une corde à boyau DE, pointillée sur la figure, glisse dans une encoche du chevalet pendant qu'il se meut, et le maintient dans une position convenable. A la partie inférieure se trouve une languette de bois saillante F, qui s'introduit dans la rainure décrite plus haut. La pointe du chevalet parcourt une division formée par des traits, dont le premier H divise en deux le sonomètre. Les traits I, K et L sont distants de H de $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{6}$ et $\frac{1}{4}$ de la longueur qui sépare les sillets. Voici maintenant la manière d'opérer.

La corde à essayer est tendue modérément sur la grande pièce de bois, et passe sur le petit sonomètre; on glisse celui-ci à l'une des extrémités de cette corde, et l'on place le chevalet en H. Les deux moitiés de la portion de corde ainsi essayée doivent sonner à l'unisson (²). Si elle subit cette première épreuve d'une manière satisfaisante, on la marque d'un point noir à l'encre, au delà du sillet. En plaçant le chevalet en I, les deux sons produits doivent être à

(¹) C'est le diapason du violon dont nous supposons qu'il s'agit en ce moment.

(²) Pour les faire vibrer, le mieux est d'employer un morceau de peau de gant roulée en cylindre, et introduit dans une plume. L'extrémité de ce cylindre doit être taillée en bec de flûte. C'est l'instrument que M. Delezenne appelait *plectrum*.

la quinte juste, et l'expérience doit être répétée de l'autre côté de la ligne médiane. Puis, en continuant de même en K et en L, on obtiendra des sons à l'octave, puis à l'octave de la quinte. Il ne reste plus qu'à marquer à l'encre les points où la corde jugée bonne devra être coupée, et le nombre de points marqués à l'une des extrémités indiquera le nombre d'épreuves subies avec succès, et, par conséquent, permettra de la classer.

Si les premières épreuves sont par trop mauvaises, on fait avancer le sonomètre de quelques centimètres, et l'on recommence. Il n'est pas rare de rencontrer des cordes qui, à la première épreuve, donnent plus d'un demi-ton de différence, et qui deviennent bonnes quelques centimètres plus loin. Les cordes filées peuvent très-bien subir des retouches locales au moyen du papier de verre. On pourrait, pour plus de rapidité, mettre deux crans aux points où le chevalot doit s'arrêter. MM. Chanot et Chardon, habiles luthiers, construisent des instruments de ce genre.

De la résistance de l'air sous l'aile de l'oiseau pendant le vol;

par M. E. Marey.

(Séance du 23 janvier.)

J'ai présenté à l'Académie des Sciences un travail destiné à démontrer que l'oiseau qui abaisse ses ailes, tandis qu'il est animé d'une translation horizontale, trouve sur l'air un appui plus solide que s'il effectuait l'abaissement de ses ailes avec la même vitesse, mais sans translation horizontale.

La théorie de ce phénomène me semblait être la suivante : une aile ou une surface quelconque qui refoule l'air rencontre, au début de son mouvement, une résistance considérable à cause de l'inertie de ce fluide, qui résiste au déplacement; mais peu à peu l'air est entraîné et sa vitesse tend à se rapprocher de celle du mobile qui le déplace : dès lors la résistance diminue. Enfin, quand le mobile s'arrête, l'air en mouvement tend à continuer son chemin, et il se produit à l'avant du mobile une véritable aspiration ou pression négative.

Or un oiseau qui se déplace horizontalement pendant l'abaisse-

ment de son aile agit, aux différents instants de cet abaissement, sur la série des colonnes d'air au-dessus desquelles il passe. Sur chaque colonne, il rencontre cette résistance maxima que l'inertie de l'air présente aux premiers instants de l'action de l'aile. Enfin, quand l'aile est arrivée au bas de sa course, elle ne subit pas l'entraînement que lui communiquerait la colonne d'air mise en mouvement, car la translation de l'oiseau l'amène sans cesse dans des régions où l'air est immobile. Toutes ces conditions sont évidemment favorables au vol, puisqu'elles accroissent la résistance de l'air qui fournit à l'oiseau son point d'appui.

Pour prouver l'exactitude de cette théorie, je fis certaines expériences dans lesquelles une même quantité de travail était appliquée à produire l'élévation et l'abaissement alternatif des ailes d'un oiseau artificiel. Tantôt ces mouvements des ailes se produisaient pendant que la machine restait à la même place : ils avaient alors une grande amplitude; tantôt on imprimait à la machine un mouvement de translation, et l'on voyait l'amplitude des coups d'aile diminuer considérablement, ce qui annonçait un accroissement de la résistance de l'air.

MM. Planavergne réclamèrent la priorité de l'idée théorique que j'avais émise et montrèrent qu'en effet ils avaient publié, quelques années auparavant, un Mémoire où cette théorie était explicitement indiquée. Toutefois ces auteurs n'avaient pas fourni de démonstration expérimentale à l'appui de leurs vues; en conséquence, il m'a semblé intéressant de continuer les recherches que j'avais commencées et de déterminer, aussi exactement que possible, d'une part, les phases des états variables de la résistance de l'air contre un mobile qui se déplace d'un mouvement uniforme; d'autre part, l'accroissement de la résistance de l'air sous l'aile d'un appareil qui se transporte avec des vitesses déterminées.

Première série d'expériences. — *Détermination des états variables et du régime régulier de la résistance de l'air contre un mobile qui se déplace d'un mouvement uniforme.*

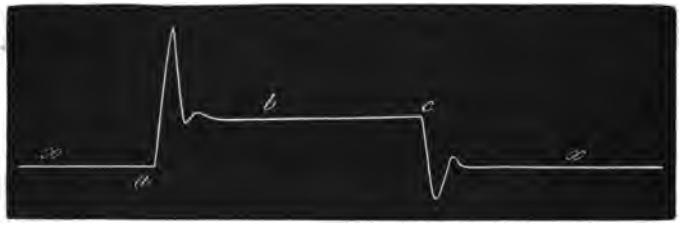
Sur un bâti solide qui peut glisser facilement sur un plan horizontal, on dispose un écran léger dont leplan soit vertical et perpendiculaire au sens du glissement. Cet écran pivote autour d'un axe horizontal, et son manche est chargé d'un poids additionnel pour qu'il y ait équilibre parfait entre le manche et l'écran lui-

même. De cette façon, au moment où l'on imprime un mouvement de translation à l'appareil, on n'a pas à craindre que l'inertie de l'une ou de l'autre partie du système fasse pivoter l'écran autour de son axe, et si un pareil pivotement se produit, c'est bien à la résistance de l'air qu'il faut l'attribuer.

En arrière de l'écran est placé un petit appareil manométrique qui, au moyen d'un tube à air, communique avec un *tambour à levier* interrupteur (¹).

L'appareil étant ainsi disposé, on lui imprime un mouvement de translation uniforme qui dure une demi ou un quart de seconde, et l'on recueille le tracé suivant (²) (*fig.* 1).

Fig. 1.



En l'absence de toute translation, l'appareil trace une ligne horizontale xx, qui correspond à la pression zéro sur le dynamomètre. Au moment où la translation commence, l'appareil signale une pression énergique a qui est l'état variable initial tenant à l'inertie de l'air que le disque repousse. Bientôt la courbe s'abaisse annonçant que la résistance de l'air faiblit, bien que la translation du disque reste uniforme. C'est que l'air subit en partie le mouvement d'entraînement. La pression s'abaisse ainsi jusqu'au niveau b, qui est le *régime régulier* de la résistance de l'air pour toute la durée de la translation.

Enfin, quand l'appareil s'arrête brusquement, on voit baisser le tracé du manomètre inscripteur au point c : c'est l'*état variable terminal;* il consiste en un entraînement de l'écran par la colonne

(¹) Voir, pour la description de cet appareil, Marey, *Du mouvement dans les fonctions de la vie,* p. 148, in-8°, 1869, Germer-Baillière.

(²) Cette figure a dû être modifiée pour la débarrasser de vibrations accessoires produites par le style inscripteur et dont on a conservé seulement une à la fin de chacun des états variables a et c.

d'air animée de vitesse. Cet entraînement cesse graduellement et le tracé revient au *zéro*.

On ne saurait avec cet appareil grossier déterminer la valeur absolue de la résistance de l'air, aux différents instants de la translation uniforme, mais on peut se convaincre de l'existence de deux états variables, dont l'un précède et l'autre suit le régime régulier de la résistance de l'air. Les études des physiciens avaient eu jusqu'ici pour but de déterminer la valeur de ce régime régulier, seulement pour différentes vitesses.

Deuxième série d'expériences. — *Accroissement de la résistance de l'air aux mouvements d'abaissement de l'aile d'un oiseau, sous l'influence de la translation horizontale de celui-ci.*

Pour obtenir cette détermination, j'ai grossièrement imité la disposition de l'oiseau en réduisant chacune des ailes à un plan mince et rigide, ayant $0^m,50$ de long sur $0^m,10$ de large. Ces deux ailes solidaires l'une de l'autre s'abaissent, à un moment donné, sous l'influence de la détente d'un ressort.

Un travail constant est ainsi dépensé pour chaque coup d'aile. La translation de la machine se fait par glissement sur un fil de fer horizontalement tendu. Deux grandes roues, dont l'une est munie d'une manivelle, entraînent une corde sans fin, dont l'un des brins est parallèle au fil de fer. C'est ce brin de la corde qui imprime à l'appareil une vitesse horizontale plus ou moins grande.

Il s'agit maintenant de mesurer avec précision la vitesse de translation et la durée de l'abaissement des ailes. La méthode graphique donne facilement ces deux mesures.

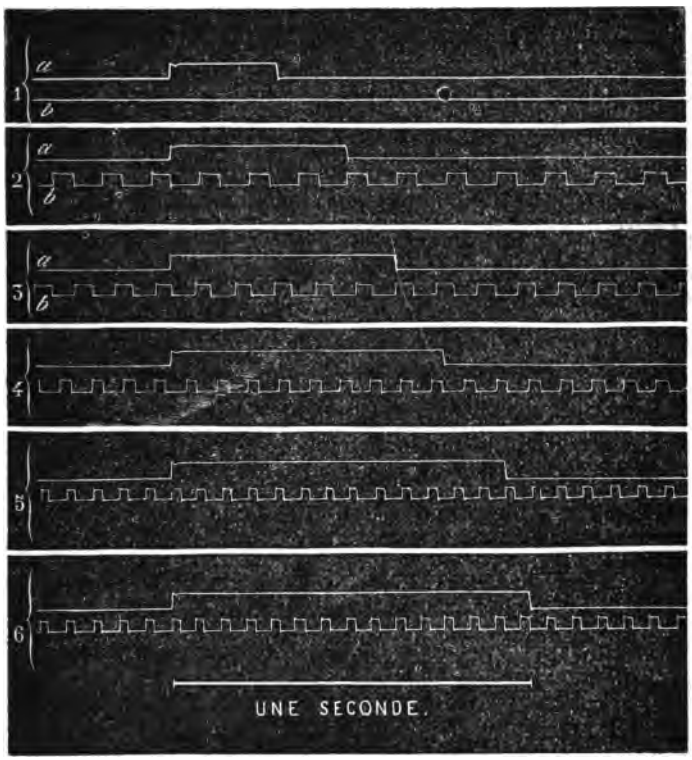
a. Mesure des vitesses de translation de la machine. — Cette vitesse n'est autre que celle de la corde sans fin, qui produit l'entraînement. Or cette corde passe sur une petite poulie dont les tours sont comptés et inscrits sur un cylindre tournant au moyen d'un style qui fonctionne à peu près comme le télégraphe Morse.

La partie qui sert au comptage des vitesses a exactement $0^m,40$ de circonférence; elle porte sur la moitié de son périmètre une armure métallique qui ferme un courant de pile lorsque deux frotteurs viennent la rencontrer, ce qui arrive pendant la moitié de chacun des tours de poulie. Le style inscripteur mis en mouvement par un électro-aimant trace une ligne crénelée qui, à chacun de ces changements de direction, indique que $0^m,20$ de corde ont

défilé, c'est-à-dire que l'oiseau artificiel a parcouru cet espace. Or plus la translation imprimée à l'oiseau est rapide, plus grand est le nombre de sinuosités inscrites pendant une seconde sur le cylindre dont la rotation est uniforme.

b. Mesure de la durée d'abaissement des ailes. — Un second inscripteur électrique, semblable à celui qui compte les tours de

Fig. 2.



poulie, sert à déterminer la durée de l'abaissement des ailes. Il faut qu'au début de cet abaissement un courant de pile soit rompu, ce qui est signalé par un changement dans la ligne tracée sur le cylindre, et qu'à la fin de l'abaissement des ailes le courant soit fermé de nouveau, ce que l'inscripteur signale encore.

On recueille simultanément le tracé des vitesses de translation et celui des durées d'abaissement des ailes, et l'on obtient une

série de déterminations dont la figure suivante (*fig.* 2) fournit quelques exemples.

Expérience n° 1. — La ligne supérieure *a* indique la durée de l'abaissement des ailes ; en prenant cette longueur sur l'échelle du temps, on voit que l'abaissement de l'aile durait moins de $\frac{1}{3}$ de seconde. Dans cette expérience il n'y a pas eu de translation de l'oiseau : la ligne *b* ne présente aucune inflexion.

Expérience n° 2. — La durée d'abaissement des ailes (ligne *a*) est déjà plus grande ; elle excède une demi-seconde. La translation était alors de près de 3 mètres par seconde. On s'en assure en prenant au compas sur la ligne *b* la longueur qui correspond à cinq changements de direction de la courbe, ce qui indique que cinq fois $0^m,20$, c'est-à-dire 1 mètre, ont été parcourues. On porte cette longueur sur l'échelle des temps, et l'on constate que dans une seconde elle est contenue environ 3 fois : on voit donc déjà que la durée d'abaissement de l'aile croît avec la vitesse.

Expériences n°s 3, 4, 5, 6. — Dans ces autres expériences, et procédant toujours de la même manière, on trouve que la durée de l'abaissement de l'aile s'accroît toujours quand la vitesse de translation augmente, et qu'avec une vitesse de $5^m,50$ l'abaissement de l'aile dure environ une seconde.

Il ne m'a pas été possible de trouver un rapport parfaitement précis entre la vitesse de translation et la durée de l'abaissement de l'aile. Des expériences faites dans des conditions identiques présentent parfois de légers écarts, qui tiennent à ce que la moindre oscillation du fil de fer qui sert de rail change légèrement la durée du phénomène. D'après ces premiers essais, il semble toutefois que la durée d'abaissement de l'aile croisse proportionnellement à la vitesse de translation, dans les limites de vitesse sur lesquelles j'ai pu opérer.

SÉANCE DU 27 MARS 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Maurat présente les appareils de M. Liais pour la mesure de

l'enregistrement électrique des observations astronomiques. Ces appareils, construits par M. Deschiens, sont destinés à l'Observatoire de Rio-Janeiro; ils se composent en réalité de trois instruments :

1° Un pendule régulateur destiné à établir des contacts électriques à chaque seconde;

2° Un compteur nécessaire pour la comparaison de la marche de ce pendule, soit avec le ciel, soit avec une horloge régulatrice.

3° Un chronographe sur lequel se fait l'enregistrement.

Cette communication donne lieu à quelques observations de M. Wolf.

M. Raynaud applique l'appareil télégraphique de M. Meyer, qui sert à transmettre plusieurs dépêches indépendantes par le même fil, et il fait fonctionner l'appareil sous les yeux de la Société.

Ce système d'appareil, basé sur la division du travail, a pour but d'utiliser tous les courants qui, dans un temps donné, peuvent se succéder dans un fil, en les répartissant entre plusieurs transmissions indépendantes les unes des autres.

Ainsi, plusieurs employés, faisant chacun de vingt à trente dépêches à l'heure, transmettent ensemble par le même fil des dépêches différentes, aussi pratiquement que par des fils séparés, c'est-à-dire que chacun peut, à volonté, ou recevoir, ou transmettre, ou être au repos; il peut de même, à tout instant, interrompre la transmission de son correspondant et faire les rectifications nécessaires, sans qu'il en résulte le moindre trouble dans les transmissions voisines.

La séance est levée à 9 heures trois quarts.

Appareil télégraphique à transmissions multiples par le même fil; par M. Meyer.

Ce système d'appareil, basé sur la division du travail, a pour but d'utiliser tous les courants qui, dans un temps donné, peuvent se succéder dans un fil, en les répartissant entre plusieurs transmissions indépendantes les unes des autres.

Ainsi, plusieurs employés, faisant chacun de 20 à 30 dépêches à l'heure, transmettent ensemble par le même fil des dépêches différentes, aussi pratiquement que par des fils séparés, c'est-à-dire que chacun peut, à volonté, ou recevoir, ou transmettre, ou être au repos; il peut de même à tout instant interrompre la transmission de son correspondant et faire les rectifications nécessaires, sans qu'il en résulte le moindre trouble dans les transmissions voisines.

On parvient ainsi, sans déroger aux habitudes de transmission actuellement en usage, et le nombre des employés restant le même, à diminuer considérablement le nombre des fils nécessaires à la même production de travail. Il est presque inutile d'ajouter que c'est le conducteur ou fil de ligne qui, de tous les organes de télégraphie, présente le plus d'inconvénients dans la pratique. Par conséquent, tout système qui en diminue le nombre, ou qui en augmente les produits est, au point de vue des besoins du service, un système de progrès.

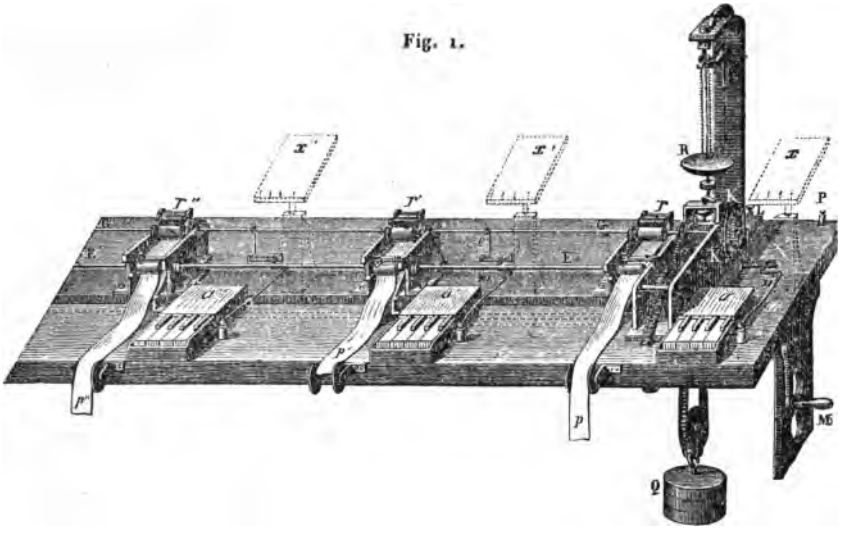
Le nombre de transmissions différentes que comporte une ligne télégraphique varie naturellement avec sa conductibilité.

On peut admettre qu'un travail de 25 dépêches à l'heure, qui, au Morse, est le travail de l'employé, exige du fil une dépense d'environ 5 émissions de courant à la seconde. Par conséquent, n étant la somme des courants qui à la seconde peuvent se succéder dans un conducteur, et 5 émissions de courant étant la dépense pour 25 dépêches à l'heure, $\frac{n}{5}$ représente le nombre de récepteurs qu'il est possible d'établir sur le même fil, ou le nombre d'employés pouvant y travailler en même temps.

L'appareil multiple que nous décrivons est à quatre transmissions et desservi par 4 employés. Il déroule avec une vitesse de 75 tours par minute, à raison de 4 lettres par tour. Il produit 100 dépêches à l'heure et exige du fil 20 émissions à la seconde; ce rendement est loin d'être un maximum. On sait par diverses expériences que les conducteurs télégraphiques en général permettent plus de 20 émissions à la seconde. Dans les essais autographiques, on a obtenu en ligne, soit chimiquement, soit à l'encre, des empreintes très-nettes avec des longueurs de courant de $\frac{1}{500}$ de seconde.

Le plan *fig.* 1 représente un appareil à quatre transmissions (*). Le système reste le même, quel que soit le nombre de récepteurs.

Fig. 1.



Sur une même table sont placés quatre petits claviers $a\,a'a''a'''$; et autant de récepteurs $r\,r'r''r'''$, ayant chacun sa bande de papier $p\,p'p''p'''$. L'organe imprimeur est un quart d'hélice, sur lequel tourne un tampon encreur. Un seul mouvement d'horlogerie, mû par un poids et régularisé par le pendule conique à suspension fixe, sert de moteur à tous les récepteurs à l'aide des deux axes GG′ et EE′ : le premier opère la rotation des hélices ; le second effectue le tirage du papier.

Les claviers, ainsi que les récepteurs, sont reliés métalliquement, d'un côté au fil de terre, et de l'autre au fil de ligne, par l'intermédiaire du distributeur K.

Une seule pile suffit à toutes les transmissions.

L'ensemble de l'appareil connu, nous allons en décrire les différentes parties.

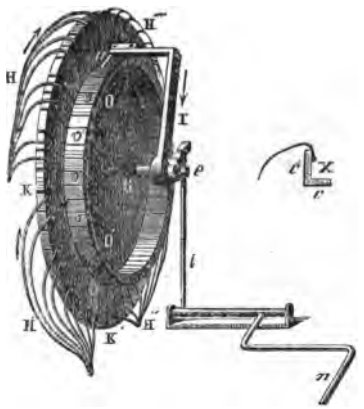
Distributeur. — Le distributeur K est la pièce caractéristique du télégraphe multiple. C'est lui qui, en quatre intervalles de temps

(*) La figure ne représente que trois transmissions en raison du format du *Bulletin*.

égaux, dirige le courant de la pile successivement vers chacun des quatre récepteurs du poste qui expédie, et de là aux récepteurs du poste qui reçoit ; car chaque dépêche s'inscrit simultanément dans les deux postes, dont les appareils sont identiques.

OO′ est un disque en métal, fixe et isolé. Il a sur son pourtour

Fig. 2.



Transmission.

48 divisions, 12 par quart de cercle, dont 8 groupées deux à deux sont reliées par un faisceau de 8 fils isolés aux 8 touches du clavier ; les autres, au nombre de 4, sont attachées en permanence à la terre. Il y a donc 4 câbles de 8 fils qui partent des 4 claviers et aboutissent au distributeur. Les groupes ou doubles divisions sont donc au nombre de 16, séparés par des intervalles ou vides, quatre par quart de cercle. La première moitié du groupe, $\frac{1}{48}$ de tour, donne lieu à un contact bref ; le groupe entier est d'une longueur double : ils sont dans le rapport de 1 : 2.

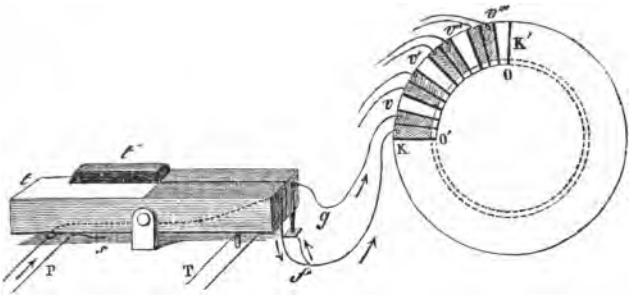
Une tige élastique ou frotteur u, monté sur l'arbre GG′, parcourt la circonférence du disque et met successivement les 4 claviers et récepteurs en contact avec la ligne, de sorte que tout courant émis ou reçu pendant le passage du frotteur sur l'un des quarts de cercle traverse le récepteur qui lui correspond. Chaque employé a ainsi la ligne à sa disposition pendant un quart de tour.

On voit que le télégraphe multiple, reposant sur la division du temps, fonctionne par des courants toujours successifs, dans des fractions de temps très-courtes, et qu'il n'a rien de commun avec es systèmes à transmission simultanée.

Manipulateur. — C'est un clavier à 8 touches : 4 blanches et 4 noires, basculant entre la pile et le fil de terre.

Nous avons vu comment elles sont reliées chacune à chacune aux divisions du distributeur.

Fig. 3.



En abaissant la touche noire, le courant de la pile se rend dans la première case du groupe, tandis que la touche blanche l'envoie dans la double case.

La première se traduit, par le passage du frotteur *u*, par une émission brève ; la seconde, par une émission longue. C'est, dans le langage télégraphique, le point et le trait. La combinaison de ces deux signaux entre eux forme un alphabet conventionnel qui ressemble en partie à l'alphabet Morse.

Pour transmettre une lettre, on appuie simultanément sur autant de touches noires ou blanches que la lettre à reproduire renferme de points ou de traits, en ayant soin de partir invariablement de la gauche du clavier, en ce qui concerne les lettres, et de la droite en ce qui concerne les chiffres, et de tenir la touche abaissée pendant tout le tour du frotteur. Un signal avertit du moment où la lettre est faite. Il y a, à cet effet, sur l'axe GG', en face de chacun des quatre claviers, un excentrique dont la fonction est de soulever, après chaque lettre, une équerre qui, retombant par son propre poids, produit un bruit léger et bat la mesure pour chaque employé.

On manipule aisément sans regarder le clavier.

Récepteur. — Le récepteur est fondé sur les principes de l'appareil autographique du même inventeur : les arêtes saillantes des cylindres reproducteurs forment chacune la quatrième partie d'une hélice complète.

Synchronisme. — La transmission multiple exige, dans les deux appareils placés à distance, un déroulement identique dans le même temps. A cet effet, un pendule conique à suspension fixe, une boule pesante enfilée sur une tige élastique, régularise le mouvement d'horlogerie. Cette régularité serait insuffisante, quoique d'un tour à l'autre il y ait à peine $\frac{1}{1000}$ de seconde d'écart. On utilise donc un système de correction pour compenser ces variations. Il a pour fonction de baisser ou de hausser, par l'action du courant de la pile, la boule du pendule.

L'un des appareils déroule librement ; c'est l'appareil type. Il envoie à chaque tour d'hélice une émission de courant destinée à la correction. Par l'effet de ce courant, l'appareil récepteur subit une avance ou un retard.

Voici comment est disposé le système correcteur. La boule du pendule qui glisse à frottement doux sur la tige est suspendue à un double ressort à boudin d'une force élastique déterminée ; c'est afin de rendre le plus léger possible le déplacement de la boule dans le sens vertical. Un cordon attaché par l'une de ses extrémités à la boule s'enroule par l'autre bout autour d'un treuil. Suivant que ce treuil tourne dans un sens ou dans un autre, le cordon s'enroule ou se déroule, et la boule du pendule monte ou descend. Il résulte dans la vitesse du second appareil une accélération ou un ralentissement.

L'arbre qui porte le treuil porte en outre un disque à l'autre extrémité. Le tout obéit à l'action d'un électro-aimant. Deux cames, fixées sur deux roues tournant en sens inverse, viennent à chaque tour agir sur le disque : l'une produit une poussée de bas en haut, elle fait monter la boule ; et l'autre de haut en bas, la boule descend.

C'est à l'aide de ce double effet que le synchronisme des deux appareils se maintient indéfiniment.

Pour établir, au commencement de la transmission, la concordance entre deux appareils, les deux pendules étant préalablement ramenés au même diapason, l'appareil type qu'on fait dérouler au hasard envoie au correspondant une émission correctrice à chaque tour, ce qui se traduit à la réception par un trait sur l'une des bandes. On amène ce trait, par une légère accélération, dans la

sphère d'action du système correcteur. On rétablit l'équilibre ; les deux appareils sont ensemble et la correction les y maintient.

On conçoit que, deux appareils déroulant synchroniquement, les deux frotteurs décrivent sur leur distributeur respectif des cercles égaux et identiques ; et tout courant circulant dans le fil pendant le passage sur le premier quart de cercle fait fonctionner le premier récepteur. Il en est de même des autres. Chaque employé a donc le fil de ligne à son usage exclusif, aussi bien pour la réception que pour la transmission, pendant un quart de tour. C'est pendant cet intervalle de temps qu'il reçoit ou transmet sa lettre, une lettre par tour. Il est isolé le reste du temps et ne peut en rien troubler les transmissions voisines.

Après chaque émission de courant, la ligne est à la terre par ses deux extrémités.

On peut à volonté diriger toutes les transmissions dans le même sens ou en sens croisés, et en utiliser indistinctement une ou plusieurs.

Le télégraphe multiple que nous venons de décrire a fait en France, à titre d'essai, le service des dépêches du public entre Paris et Lyon, tous les jours, de 11 heures du matin à 6 heures du soir, et a donné les résultats suivants, résultats constatés par le rapport officiel de la Commission.

Le maximum par employé a été de 28 dépêches à l'heure ;

Le produit maximum du fil, de 110 dépêches à l'heure.

La moyenne par employé, après avoir été le premier jour de 19 dépêches à l'heure, s'est élevée à 22 et 23 dépêches. On sait que la moyenne du Morse est de 18 dépêches par employé, et celle du Hughes de 22.

La moyenne par fil était donc 92 dépêches à l'heure, celle du Hughes étant de 45 à l'heure [1].

Le travail total de la séance de 7 heures a été de 150 dépêches par employé ; donc 600 dépêches comme produit du fil.

Le rendement d'un appareil multiple à quatre transmissions, comme on voit, est le double du Hughes et le quadruple du Morse. Il donnera trois fois le produit du Hughes s'il est à six récepteurs, etc.

---

[1] En supposant le Hughes desservi par deux employés à chaque appareil.

Le prix de revient du système multiple peut être évalué à autant de fois le prix du Morse qu'il y a de transmissions.

Un appareil à quatre transmissions a figuré cette année à l'exposition universelle de Vienne.

Sur la production artificielle des matières organiques douées du pouvoir rotatoire. Préparation des acides tartriques droit et gauche, en partant du gaz oléfiant; par M. E. Jungfleisch, Conservateur des Collections scientifiques à l'École Polytechnique.

I. Les recherches synthétiques ont donné depuis vingt ans aux chimistes des résultats tellement merveilleux que la production artificielle des principaux matériaux dont se composent les êtres vivants semble devoir être réalisée dans un temps relativement court. Il est cependant une propriété physique, le pouvoir rotatoire, qui, commune à un grand nombre de composés naturels, ne se retrouve jusqu'ici dans aucune des substances organiques obtenues par la synthèse chimique. D'après certaines idées émises en premier lieu par Biot et partagées par beaucoup de savants, on considère, en effet, les substances douées du pouvoir rotatoire comme produites seulement dans les organismes vivants et par des actions que la science serait impuissante à provoquer : tel est le problème que je crois avoir résolu. En effet, j'ai pris le gaz oléfiant, composé facile à obtenir par synthèse, et je l'ai transformé en acides tartriques optiquement inactifs ; puis j'ai dédoublé le produit ainsi obtenu en deux acides symétriques entre eux, nettement caractérisés par les phénomènes optiques et cristallographiques, doués l'un du pouvoir rotatoire à droite, l'autre du pouvoir rotatoire à gauche : l'acide droit est identique avec l'acide naturel.

II. Rappelons d'abord l'état de la question.

Les belles recherches de M. Pasteur ont établi qu'il existe quatre variétés d'acide tartrique, savoir :

1° L'acide tartrique naturel, hémièdre et doué du pouvoir rotatoire à droite ;

2° L'acide tartrique gauche, hémièdre et doué du pouvoir rotatoire à gauche ;

3° L'acide racémique, combinaison optiquement neutre des deux acides actifs qu'il peut reproduire par son dédoublement ;

4° L'acide tartrique inactif, privé d'hémiédrie et de pouvoir rotatoire comme le précédent, mais non dédoublable.

Dans une première série de recherches, j'ai démontré que, sous l'influence de la chaleur, les acides tartriques optiquement actifs peuvent être transformés en acides racémique et tartrique inactif, corps dépourvus d'action sur la lumière polarisée. De plus, sous la même influence, ces deux derniers composés peuvent se transformer réciproquement l'un dans l'autre, et donner lieu, dès lors, à un équilibre limitant le phénomène. Il découlerait de là, si l'on admet que l'acide tartrique inactif est bien réellement inactif, que, contrairement aux idées de Biot, un corps optiquement inactif peut engendrer, en dehors de l'intervention des phénomènes de la vie, un corps optiquement neutre, c'est-à-dire formé de composés actifs séparables l'un de l'autre.

III. Ces résultats m'ont engagé à pousser plus loin, en m'attachant d'abord à l'acide tartrique formé artificiellement. En effet, en 1860, MM. Perkin et Duppa ont établi (1) que l'acide succinique peut être transformé en acide tartrique : l'acide qu'ils avaient obtenu a été étudié par M. Pasteur et reconnu par lui comme un mélange des acides racémique et tartrique inactif (2). Mais les recherches des éminents chimistes anglais, quelque remarquables qu'elles soient au point de vue chimique, ne résolvent cependant pas la question de la production artificielle du pouvoir rotatoire ; elles ont été faites avec l'acide succinique ordinaire, qui provient, on le sait, de matières naturelles diverses ; on peut donc se demander, comme l'a fait avec raison M. Pasteur (3), si cet acide succinique « est réellement inactif par nature », s'il ne serait pas plutôt « inactif par compensation », ou bien même « si cet acide succinique ne serait pas un corps actif dont l'action sur la lumière polarisée serait très-faible et difficile à mettre en évidence ».

Or, peu de temps après la publication des expériences de

(1) *Quarterly journal of the Chemical Society*, t. XIII, p. 102 (juillet 1860). — *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LX, p. 234.

(2) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LXI, p. 484 ; 1861.

(3) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LXI, p. 484 ; 1861.

MM. Perkin et Duppa, M. Maxwel Simpson a eu l'heureuse idée d'étendre aux composés polyatomiques les faits relatifs aux nitriles découverts par MM. Dumas, Malagutti et Le Blanc, et il a formé ainsi, entre autres synthèses remarquables, de l'acide succinique au moyen du gaz oléfiant ou éthylène, par l'intermédiaire du cyanure d'éthylène. L'éthylène, d'ailleurs, peut être obtenu facilement en partant de l'acétylène, formé lui-même par l'union directe des éléments carbone et hydrogène, comme l'a montré M. Berthelot. Si donc on peut, en partant du gaz oléfiant, préparer de l'acide succinique et répéter ensuite avec lui les expériences de MM. Perkin et Duppa; si de plus l'acide tartrique obtenu est résoluble en deux acides optiquement actifs, la question sera complétement élucidée.

IV. J'ai donc préparé de l'acide succinique en partant de l'éthylène.

Le travail que j'entreprenais exigeant un grand nombre de réactions qui donnent chacune un faible rendement, j'ai dû opérer sur des quantités de matière considérables : je n'ai pas mis en œuvre moins de 3800 grammes de bibromure d'éthylène parfaitement pur. Ce produit a été transformé en dicyanure d'éthylène, en suivant exactement les indications de M. Simpson. J'ai ensuite changé le cyanure en acide succinique ; cette opération étant pénible et d'un rendement médiocre dans les conditions signalées par le savant anglais, je l'ai modifiée, et, en suivant une méthode qu'il serait trop long de décrire ici, j'ai obtenu plus de 300 grammes d'acide succinique synthétique pur et cristallisé.

J'ai changé ce corps en acide succinique bibromé, puis en acide tartrique, en modifiant les procédés signalés par MM. Perkin, Duppa et Kekulé.

L'acide tartrique ainsi préparé est identique avec celui que m'ont donné tous les essais préliminaires faits avec l'acide succinique du commerce : c'est un mélange d'acides racémique et tartrique inactif.

J'ai transformé, par l'action de la chaleur, en acide racémique tout l'acide tartrique inactif obtenu.

V. Après avoir mis à part quelques cristaux de l'acide racémique préparé synthétiquement, j'ai transformé le reste en tartrate double de soude et d'ammoniaque, conformément à la méthode de M. Pas-

teur. La liqueur m'a donné deux sortes de cristaux : les uns, très-nettement hémièdres à gauche et identiques au tartrate gauche, forment une solution douée du pouvoir rotatoire à gauche, comme je m'en suis assuré ; les autres cristaux, hémièdres à droite et identiques au tartrate droit, forment une solution douée du pouvoir rotatoire à droite. Les valeurs trouvées pour ces pouvoirs rotatoires sont identiques à celles que fournissent dans les mêmes conditions les produits d'une autre origine. Dans tous les cas, les expériences ci-dessus démontrent l'existence du pouvoir rotatoire dans les acides synthétiques.

En résumé, l'acide racémique et l'acide tartrique inactif provenant du gaz oléfiant sont identiques aux mêmes corps d'origine naturelle, et tous deux peuvent engendrer, directement ou indirectement, les acides tartriques droit et gauche, symétriques entre eux et doués du pouvoir rotatoire.

Ces expériences me paraissent démontrer, en dehors de toute hypothèse sur l'activité optique plus ou moins dissimulée de l'acide tartrique inactif, que le pouvoir rotatoire peut être créé sans l'intervention de la vie et au moyen des composés formés par la synthèse totale des éléments.

VI. J'ajouterai que tous ces faits ne sont pas propres à l'acide tartrique. Des recherches déjà étendues, et portant sur un assez grand nombre de substances optiquement actives, m'ont démontré que leurs diverses variétés optiques peuvent donner lieu à des transformations analogues à celles qui viennent d'être indiquées rapidement pour l'acide tartrique. Je ne citerai qu'un seul exemple.

L'acide camphorique fourni par le camphre ordinaire est doué du pouvoir rotatoire à droite. D'après les belles expériences de M. Chautard, l'acide camphorique obtenu avec le camphre de la matricaire est gauche. De plus, ces deux acides peuvent se combiner et donner naissance à un acide racémo-camphorique inactif par compensation. En partant de l'acide camphorique droit, j'ai pu obtenir l'acide camphorique inactif et l'acide racémo-camphorique ; j'ai réussi à dédoubler ce dernier en acide droit et en acide gauche ; de plus, l'acide inactif et l'acide racémique peuvent être transformés réciproquement et régulièrement l'un dans l'autre.

Dans le cas actuel comme dans le cas précédent, la transforma-

tion d'un corps inactif par nature en un corps inactif par compensation, et par suite en corps actifs, se trouve réalisée.

L'action de la chaleur permet donc d'une manière générale de produire, de modifier et de détruire, dans certaines substances, le pouvoir rotatoire.

SÉANCE DU 10 AVRIL 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures précises.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

Un grand nombre de membres non résidants assistent à la séance.

M. Laurent montre son appareil, qui sert à l'étude de la réfraction conique, et un nouveau saccharimètre.

M. Raynaud prend la parole au nom de M. Bontemps et décrit une méthode employée pour déterminer le point d'arrêt des curseurs dans les tubes pneumatiques.

M. Boudréaux répète quelques expériences d'Edelmann sur la projection des spectres de métaux.

M. Gernez répète quelques expériences de surfusion.

M. Mascart reproduit des expériences sur la trempe du verre.

La séance est levée à 10 heures.

Lumière monochromatique rendue intense; par M. LAURENT.

J'ai l'honneur de présenter à la Société un bec Bunsen, pour la lumière du sodium, et disposé de telle façon qu'il permet d'obtenir dans l'intérieur de la flamme jaune ordinaire une partie restreinte assez fixe et excessivement brillante, dont l'utilité sera appréciée, je l'espère, dans l'application aux saccharimètres en général qui, on le sait, laissent quelquefois à désirer par le manque d'intensité de la lumière.

Pour cela, les orifices pour le gaz et l'air sont combinés de manière à donner le maximum d'air, et par suite de chaleur, ainsi que cela a déjà été fait, mais dans d'autres applications; le tube par

lequel arrivent les gaz est suffisamment long pour que le mélange soit complet, de sorte que, au lieu de la flamme agitée et pétillante que l'on obtient généralement, j'ai en haut du tube un petit cône verdâtre très-tranquille, dans l'intérieur d'une flamme violette peu éclairante, mais très-chaude.

Le point principal consiste maintenant à introduire dans la flamme et sur le côté une cuiller en toile de platine, en forme d'écope, la partie relevée et inclinée se trouvant près du sommet du cône. Le sel est placé dans le godet de la cuiller où il fond, et il se produit, dans le prolongement de la partie inclinée et relevée, une sorte d'aspiration qui produit une flamme étroite, mais très-brillante, et que l'appareil n'utilise même pas tout entière.

A l'occasion de la Communication de M. Marcy sur le chronographe, M. Melsens a adressé à la Société la Note suivante :

Note historique sur l'inscription des vibrations;
par M. Melsens.

Thomas Young (1807), après avoir décrit un appareil analogue à celui de M. Duhamel (1840), composé d'un cylindre vertical auquel on peut imprimer simultanément un mouvement de rotation et un mouvement vertical, ajoute : « Cet instrument peut servir à mesurer sans difficulté le nombre (*frequency*) des vibrations des corps sonores, en leur appliquant un style qui décrira une trace ondulée sur le cylindre. Ces vibrations peuvent servir aussi, d'une manière bien simple, à mesurer de minimes intervalles de temps; car si l'on fait vibrer un corps dont les vibrations ont une certaine fréquence pendant que le cylindre tourne, et qu'on fasse marquer ses vibrations sur le cylindre, ces traces constitueront un index correct du temps occupé par une partie de la révolution, et le mouvement d'un corps quelconque peut être comparé avec le nombre des alternations marquées pendant le même temps par le corps vibrant (*). »

(*) *A course of lectures on natural Philosophy and the mechanical Arts.* — London, 1807, t. I, p. 190.

Voici le texte anglais :

« By means of this instrument we may measure without difficulty the frequency of the vibrations of sounding bodies, by connecting them with a point, which will describe an ondulated path on the roller. These vibrations may also serve in very simple manner for the measurement of the minutes intervals of time; for a body of which the vibrations are of a certain degree of frequency, be caused to vibrate during the revolution of the axis and to mark its vibrations on the roller, the traces will serve as a correct index of the time occupied by any part of the revolution and the motion of any body may be very accurately, compared with the number of alternations marked, in the same time, by the vibrating body. »

SÉANCE DU 24 AVRIL 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Mascart expose ses recherches sur la réfraction des gaz, et met sous les yeux de la Société divers appareils qui lui ont servi à cette occasion.

La partie optique de l'observation est fondée sur l'emploi des franges de Talbot. M. Mascart en donne une théorie élémentaire, dans le cas usité dans ses expériences.

M. Lippmann expose les résultats de ses expériences sur la variation des forces capillaires par le passage d'un courant dans le liquide employé.

Il place sous les yeux de la Société divers appareils qui mettent en lumière les phénomènes qu'il a observés, en particulier un véritable électromètre et un petit moteur fondés sur la variation de la force capillaire.

La séance est levée à 10 heures.

William Grosseleste
Ingenieur

Recherches physico-chimiques sur les gaz et les liquides condensés par le charbon poreux; par M. MELSENS.

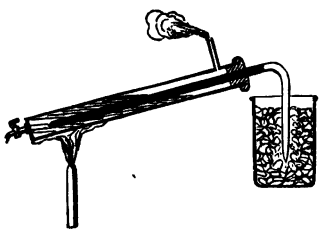
(Séance du 9 janvier 1874.)

Par diverses Notes lues à l'Académie royale de Belgique [1], j'ai fait connaître les résultats de recherches physico-chimiques ayant pour objet principal l'étude de la condensation des liquides et des gaz par le charbon. Parmi ces recherches, voici celles qui me semblent devoir intéresser les physiciens.

1. *Liquéfaction des gaz absorbés par le charbon.* — On introduit du charbon récemment calciné, aussi rapidement que possible, dans la longue branche d'un tube de Faraday, au fond de laquelle on place un petit bouchon d'asbeste. Ce tube, qu'on laisse provisoirement ouvert aux deux bouts effilés prêts à être fermés au chalumeau, est entouré d'un linge humide sur lequel on place de la glace pilée, puis mis en communication avec les appareils donnant le gaz pur et sec sur lequel on veut expérimenter; on fait passer lentement un excès de gaz et l'on ferme les deux extrémités à la lampe; on connaît le poids du charbon, le poids du gaz absorbé, et, au besoin, on peut connaître le volume total de l'appareil.

Le tube, ainsi préparé (*fig.* 1), est placé dans un long tube de

Fig. 1.



fer-blanc rempli d'eau et terminé par une ouverture qui laisse échapper la vapeur; la partie supérieure de ce tube est munie d'un bouchon que l'on garnit d'un mastic ou d'un lut convenable pour empêcher la vapeur de chauffer la courte branche plongée dans un mélange réfrigérant.

[1] Mémoires couronnés et autres Mémoires publiés par l'Académie royale de Belgique, t. XXIII, 1873.

L'acide sulfureux [1], le chlore, l'éther chlorhydrique, le cyanogène, l'hydrogène sulfuré, l'ammoniaque, l'acide iodhydrique ont été liquéfiés par cette méthode.

J'ajoute que mes tubes ont été déjà chauffés à différentes reprises, et que pour les démonstrations dans les leçons ils sont parfaitement suffisants; en effet, par le refroidissement, on voit le gaz condensé, et transformé en liquide dans la courte branche, s'évaporer, bouillir et retourner au charbon pendant que du givre se dépose sur toute la partie du tube préalablement remplie de liquide.

Remarque. — Il est convenable, pour quelques gaz difficilement condensables, de rendre la petite branche plus étroite que la grande.

2. *Réaction des gaz condensés.* — L'hydrogène est brûlé à froid, à l'abri complet de la lumière, quand il passe sur du charbon saturé de chlore. Une partie de l'acide chlorhydrique formé se dégage, et la *combustion* est accompagnée d'un *abaissement de température.* L'eau est décomposée à froid et à l'abri de la lumière au contact du *charbon chloré;* il se forme de l'acide chlorhydrique et le charbon est brûlé à l'état d'acide carbonique; une partie du chlore se dégage, mais on constate une légère élévation de température.

L'acide chlorosulfurique, qui ne s'obtient que très-difficilement par l'action de la lumière solaire sur un mélange de chlore et d'anhydride sulfureux, s'obtient sans peine et en quantité considérable en faisant arriver les deux gaz simultanément dans de l'acide acétique cristallisable, ou en les faisant passer sur de la braise pure, qui les condense d'abord et provoque leur combinaison. Ces expériences peuvent se faire dans l'*obscurité complète.*

La lumière, ou les forces qu'elle représente, peut donc être remplacée par une *action de contact* ou un phénomène d'*affinité capillaire.*

3. *Des liquides au contact du charbon poreux.* — Les expé-

---

[1] En utilisant l'action de l'acide sulfurique sur le soufre dans des vases de fonte, on obtient avec facilité et en grande quantité l'anhydride sulfureux liquéfié. Je ne suis pas parvenu à déterminer le point d'ébullition exact de l'anhydride sulfureux; mes nombreux essais confirment les expériences de M. V. Regnault.

La tension de vapeur de ce corps déterminée à 100° C. a donné sensiblement F = 20093 ou 26,44 atmosphères, d'après la formule de M. V. Regnault.

riences de MM. Favre et Silbermann prouvent que la chaleur latente de vaporisation est inférieure à la chaleur dégagée par la condensation de certains gaz dans les pores du charbon. D'autre part, Pouillet, en 1822, a reconnu le dégagement de chaleur produit chaque fois qu'un solide est mouillé par un liquide. J'ai étudié ce sujet et fait quelques expériences sur la chaleur produite par l'imbibition du charbon; je vais les faire connaître.

L'élévation de température obtenue au moyen du charbon et des liquides donne des nombres plus élevés que ceux trouvés par Pouillet pour beaucoup de solides et de liquides sur lesquels il a opéré.

Je n'ai pas eu à ma disposition un calorimètre, et mes expériences ont été faites dans un appareil que tout chimiste ou physicien peut monter et faire voir dans les cours.

Un grand vase à précipité en verre mince (*fig.* 2) est entouré

Fig. 2.

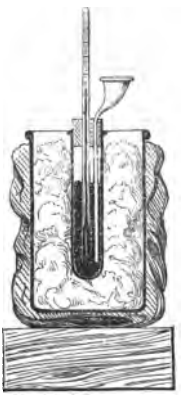
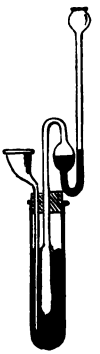


Fig. 3.



d'un essuie-main; on le remplit d'ouate cardée; au centre, on place un tube d'essai en verre très-mince, d'une hauteur de 15 centimètres sur 2 de diamètre; un thermomètre donnant le dixième de degré C. plonge au centre, maintenu par un bouchon garni de platine, et portant une rainure par laquelle passe l'extrémité d'un entonnoir destiné à laisser écouler le liquide au centre du charbon.

Dans un cours, le thermomètre est remplacé avec avantage par un thermoscope (*fig.* 3).

En opérant sur 10 grammes de charbon et environ 25 centimètres cubes de liquide, on a obtenu une élévation de température de plusieurs degrés avec l'éther, l'alcool et le sulfure de carbone; avec 11 grammes de charbon et 97 grammes de brome, l'élévation de température a été de 30 degrés C.

Je regrette de n'avoir pas été à même de faire des expériences exactes, et j'appelle l'attention sur la mesure de la force avec laquelle un liquide peut être attiré par une paroi solide.

Me basant sur les données de MM. V. Regnault, Thomson et Joule, et sur les résultats donnés par Pouillet, que je regarde comme plus exacts que les miens, je pense pouvoir admettre que, pour l'eau, cette force d'attraction se mesure par

$$(1,16 : \tfrac{1}{77}) \times 10 = 893 \text{ atmosphères},$$

une compression brusque de 10 atmosphères n'élevant la température de l'eau que de $\frac{1}{77}$ de degré C., et l'imbibition du charbon par l'eau produisant une élévation de température égale à 1°,16 C.

En adoptant ces données pour les autres liquides, on arrive à

$(30 : \frac{1}{77}) \times 10 = 23100$ atmosphères pour le brome;
$(17 : \frac{1}{77}) \times 10 = 13090$ » le sulfure de carbone;
$(6 : \frac{1}{77}) \times 10 = 4620$ » l'éther;
$(4 : \frac{1}{77}) \times 10 = 3080$ » l'alcool,

les nombres 30, 17, 6 et 4 étant environ l'élévation de température dans les circonstances de mes expériences.

Quoi qu'il en soit de ces données, elles prouvent que la tension des liquides volatils au contact du charbon doit être beaucoup affaiblie, et, en effet, en tenant compte du poids du charbon et du liquide volatil qui l'imprègne, on voit qu'une grande quantité de ce dernier reste fixée sur le charbon, bien que celui-ci soit porté à une température de beaucoup supérieure au point d'ébullition du liquide; en opérant dans un tube de Faraday, dont on refroidit la courte branche par un mélange de glace et de sel marin, un charbon imprégné de son poids de brome le retient complétement, bien qu'étant chauffé dans un courant de vapeur d'eau.

Expériences électrocapillaires; par M. Lippmann.

(Séance du 24 avril 1874.)

On peut montrer, par quelques expériences simples, une relation qui existe entre les phénomènes capillaires et électriques.

1° La constante capillaire à la surface de séparation de deux liquides est fonction de la force électromotrice de polarisation sur cette surface; 2° cette force électromotrice est fonction de la variation de l'aire de cette surface. (*Comptes rendus,* 9 juin 1873.)

Première expérience.— Un tube de verre capillaire GG′ (*fig.* 1)

Fig. 1.

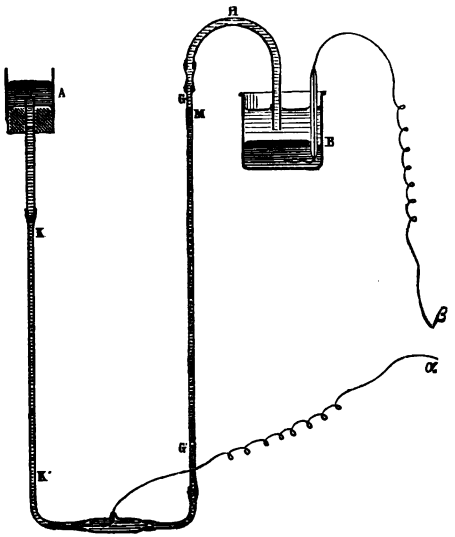
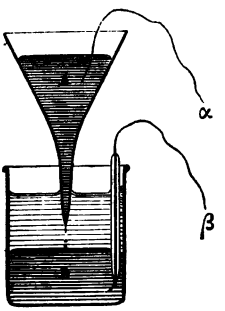


Fig. 2.



est mis en communication par un tube de caoutchouc avec un vase plus large A contenant du mercure. La colonne de mercure se termine en M par un ménisque convexe; le niveau en M est moins élevé qu'en A (dépression capillaire). La partie supérieure du tube GG′ contient de l'acide sulfurique étendu, qui se continue à travers le tube H, jusque dans le verre B; au fond de ce verre se trouve une couche de mercure. Deux fils de platine α, β, isolés l'un de l'autre, sont en contact avec les deux masses de mercure en A et B, et permettent de les mettre en communication avec l'extérieur.

Faisons communiquer α avec le pôle zinc, β avec le pôle cuivre d'un élément Daniell. Au moment où le circuit est fermé, le ménisque hémisphérique M s'abaisse brusquement et prend une nouvelle position d'équilibre.

La dépression capillaire (corrigée de la pression de l'acide) a augmenté de 0,35 de sa valeur. L'appareil constitue un voltamètre à électrodes de mercure, le courant commençant à développer sur ces électrodes une force électromotrice de polarisation, qui fait équilibre à la force électromotrice de l'élément Daniell, et qui fait cesser le courant avant qu'aucune action chimique visible se soit produite.

En d'autres termes, la force électromotrice de contact entre le mercure et l'eau acidulée en M ayant augmenté de 1 Daniell, la tension superficielle sur la même surface a augmenté de 0,35 de sa valeur primitive. Si l'on supprime la pile et qu'on réunisse α et β par un fil métallique, M reprend exactement sa position primitive.

La tension superficielle en M est fonction *continue* de la force électromotrice qui a lieu sur la même surface. On peut faire varier la force électromotrice en M d'une manière continue, en réunissant les pôles de la pile par un fil métallique, dont on fait varier la résistance d'une manière continue.

A chaque valeur de la résistance correspond une position d'équilibre du ménisque; ces positions d'équilibre se suivent d'une manière continue. Cette méthode a permis de déterminer, point par point, la courbe qui représente la variation de la constante capillaire en fonction de la force électromotrice de polarisation.

Deuxième expérience. — Cette expérience est l'inverse de la précédente : l'inverse, comme la production d'un courant induit est l'inverse d'une action électromagnétique.

La pile de l'expérience précédente est supprimée et remplacée par un galvanomètre; les extrémités du fil du galvanomètre communiquent avec α et β. Cette fois, l'aiguille étant au repos, on fait varier mécaniquement le niveau du mercure en M, en soulevant le réservoir A, ou bien en comprimant l'air qu'il contient. Aussitôt l'aiguille est déviée et indique un courant allant dans l'appareil de M en B. Si l'on renverse le sens du mouvement, le sens du courant est renversé. La quantité d'électricité dégagée est proportionnelle à la variation de la surface de contact des deux liquides dans le tube GG'.

Troisième expérience. — Un appareil plus simple que le précédent permet d'obtenir un courant électrique permanent.

Un entonnoir de verre A (*fig.* 2) contient du mercure qui s'écoule par la pointe effilée de l'entonnoir; cette pointe plonge dans l'eau acidulée contenue dans le vase B; au fond de ce vase est une couche de mercure; deux fils de platine α, β mettent la masse de mercure A et B en communication avec les extrémités du fil d'un galvanomètre. L'aiguille du galvanomètre est déviée dès que le circuit est fermé, et reste déviée d'une manière permanente aussi longtemps que dure l'écoulement, c'est-à-dire aussi longtemps que l'on veut. L'accroissement de surface de chaque goutte de mercure, qui grossit avant de se détacher de la masse continue A, est ici encore la cause du courant.

Électromètre capillaire. — L'appareil de l'expérience première, modifié, constitue le plus précis et le plus sensible des électromètres. Un tube de verre vertical, ouvert aux deux bouts, se termine à sa partie inférieure par un canal effilé de $0^m,005$ de rayon intérieur. On y verse une colonne de $0^m,850$ de mercure, laquelle est soutenue par la pression capillaire du ménisque de $0^m,005$ de rayon qui se forme dans la partie effilée. Ce ménisque forme (comme le ménisque M) une des électrodes d'un voltamètre à électrodes de mercure. Pour mesurer la force électromotrice d'une pile, on l'intercale entre ces deux électrodes. La force électromotrice de polarisation qui se produit fait équilibre à celle qu'on veut mesurer; en même temps, le ménisque est refoulé. On le ramène à sa première position, laquelle est déterminée par le réticule d'un microscope dont le grossissement est de 220, en exerçant sur le mercure une pression compensatrice avec de l'air comprimé, pression qu'on mesure directement et qui sert de mesure à la force électromotrice. Exemple : force électromotrice, 0,374 Daniell; pression, $0^m,234$ mercure. Pour de très-petites forces électriques, on peut laisser la pression constante, et mesurer à l'aide d'un micromètre oculaire le déplacement du ménisque. On a mesuré ainsi les millièmes et estimé les dix-millièmes de la force électromotrice d'un Daniell.

SÉANCE DU 8 MAI 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures précises.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Clamond expose sous les yeux de la Société des piles thermo-électriques formées par des lames de fer et par un alliage spécial : ces piles fonctionnent à l'aide de la chaleur fournie par la combustion du gaz d'éclairage et ne dépensent qu'un prix minime par heure.

Munies d'un rhéomètre de M. Giroud, qui permet d'amener le gaz sous une pression constante, le courant de ces piles est très-uniforme et peut servir d'une manière continue pendant des semaines entières.

Au point de vue industriel, elles ont reçu des applications diverses, spécialement à la galvanoplastie.

Ces piles peuvent servir à répéter diverses expériences de cours, notamment les expériences de la bobine d'induction, les tubes lumineux, etc.

M. Bertin exécute ensuite devant la Société un grand nombre d'expériences de projection, à l'aide d'un appareil construit par M. Duboscq : les dispositions ont été combinées de telle sorte que la plupart des expériences d'optique peuvent être facilement projetées ; les plus intéressantes se rapportent aux phénomènes de polarisation sous toutes les formes convenables pour faciliter l'enseignement.

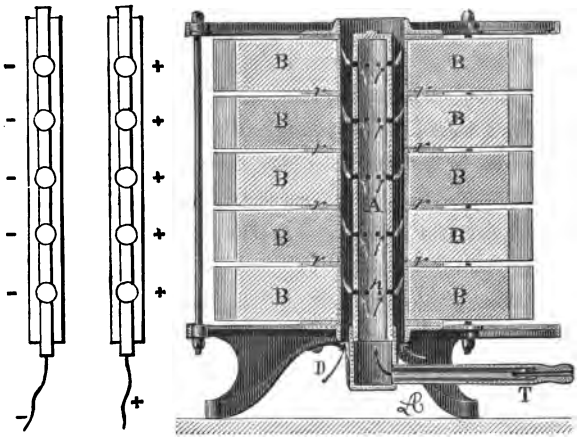
La séance est levée à 9 heures et demie.

Sur une nouvelle pile thermo-électrique; par M. C. Clamond.

La pile thermo-électrique, que j'ai nommée *générateur thermo-électrique,* ne présente dans son ensemble rien qui soit absolument

nouveau ; mais, par les détails de sa construction et son mode de chauffage, elle réalise un appareil essentiellement pratique et industriel, puisqu'elle réunit cette double qualité de produire sous un petit volume et avec une dépense de gaz relativement faible un courant énergique et constant.

Je crois, avant d'entrer dans les détails techniques concernant mon appareil, devoir jeter un regard rétrospectif sur la question.



Coupe suivant l'axe vertical de l'appareil. Vue des armatures, les barreaux étant assemblés en surface.

T Tubulure servant à l'arrivée du gaz.
A Tuyau en terre réfractaire, percé de trous N par lesquels s'écoule le gaz mélangé à l'air pour brûler dans l'espace annulaire.
D Prise d'air servant à la combustion.
BB Barreaux thermo-électriques.
rr Rondelles en amiante servant à isoler les éléments du générateur.

Les courants thermo-électriques découverts par Seebeck ont été l'objet d'études très-approfondies de la part de savants distingués, entre autres de MM. Marcus et Ed. Becquerel. Ce dernier a longuement et minutieusement étudié les lois du développement des courants thermo-électriques, dans des substances différentes et à diverses températures, et l'on peut dire que, si ses travaux n'ont pas produit une pile thermo-électrique pratique, ils n'en ont pas moins droit à la reconnaissance de tous ceux qui se sont occupés d'applications thermo-électriques.

Le premier essai d'appareil pratique fut fait par M. Farmer, qui produisit deux de ses modèles à l'Exposition universelle de 1867. Ces appareils, réellement remarquables, avaient le défaut de perdre rapidement leur force. Les barreaux, excessivement fragiles, se brisaient en se refroidissant.

Le 31 mai 1869, M. Becquerel présentait à l'Institut une pile thermo-électrique que j'avais construite en collaboration avec M. Mure, avec des couples de galène et des lames de fer.

Il constatait en même temps que l'affaiblissement du courant provenait, non de la diminution de la force électromotrice, mais de l'augmentation de la résistance de l'appareil. Je dois dire, pour rendre justice à mon collaborateur d'alors, M. Mure, que si nos efforts communs ne parvinrent pas à rendre les piles à galène durables, ils contribuèrent à donner aux barreaux et à l'ensemble de la pile une disposition que j'ai conservée, n'en ayant pas trouvé de meilleure.

Les recherches que j'ai faites par la suite m'ont prouvé que l'augmentation de la résistance intérieure était due à deux causes :

1° Oxydation des contacts des lames polaires avec le barreau cristallisé, sous l'influence de la chaleur;

2° Fendillation du barreau et séparation de ses différentes parties suivant des plans perpendiculaires à sa longueur.

J'ai évité le premier inconvénient par une disposition particulière de l'attache de la lame polaire. A cet effet la lame métallique, découpée au balancier, est repliée sur elle-même de manière à présenter une ou plusieurs charnières. Ces charnières, prises dans la coulée, se trouvent d'abord enveloppées par le métal, qui s'introduit ensuite dans leur intérieur et forme ainsi des noyaux métalliques. Ces derniers, se dilatant plus que les charnières, pressent constamment contre elles, de sorte que l'action de la chaleur ne tend qu'à raffermir les contacts.

Quant au second inconvénient, il était bien plus difficile à constater et à éviter.

Lorsqu'on coule un corps thermo-électrique, soit un métal, soit un sulfure métallique, dans un moule froid de forme cubique, il se forme trois plans de séparation parallèles aux faces du cube, de sorte que l'on obtient par le fait huit cubes séparés. Ces séparations ne sont pas visibles de premier abord; mais, après avoir chauffé

plusieurs fois de suite la masse, on constate en la brisant l'existence de ces trois plans par des couches noires provenant de l'oxydation de ces surfaces intérieures. Ce fait peut s'expliquer en ce sens que les corps thermo-électriques, étant dépourvus d'élasticité et tous plus ou moins cassants, se séparent en parties distinctes qui cristallisent sur les parois du moule. Les corps thermo-électriques coulés dans des moules froids sont excessivement fragiles. On a cru, en faisant recuire ces barreaux, améliorer leur condition physique. Le recuit donne au barreau un aspect plus solide, mais ne fait que développer les fentes qui se sont formées par la coulée. J'ai monté des piles avec des barreaux recuits et d'autres non recuits, soit en galène, soit en alliages métalliques, et j'ai toujours remarqué que les barreaux recuits faiblissaient plus rapidement encore que les autres. Les conditions à remplir pour obtenir des barreaux homogènes sont les suivantes : annihiler l'influence des parois du moule et empêcher le plus possible la cristallisation.

J'ai employé à cet effet un procédé analogue à celui qui est usité pour donner aux bougies stéariques de la solidité en empêchant la cristallisation. Le moule étant chauffé à une température très-voisine du point de fusion de la substance thermo-électrique, celle-ci est coulée elle-même très-près de son point de solidification.

J'ai adopté pour la confection de mes couples l'alliage de zinc et d'antimoine employé par Marcus et des lames de fer pour armatures. J'ai adopté l'alliage antimoine et zinc, parce qu'il est bon conducteur de l'électricité et parce que la température de son point de fusion rend plus pratique et plus facile à réaliser mon mode de coulage; mais je dois, en passant, signaler un fait qui est en opposition avec les idées admises jusqu'à ce jour.

On sait que l'alliage zinc et antimoine possède la propriété thermo-électrique à son maximum d'intensité lorsqu'il est composé d'équivalents chimiques égaux des deux métaux qui le constituent. Or l'expérience m'a conduit à affaiblir la tension de mes barreaux de manière à gagner en quantité ce que je perds en tension. Ainsi le modèle que j'ai l'honneur de soumettre à la Société dépose 20 grammes de cuivre à l'heure, et le même modèle, construit avec des barreaux du même alliage d'une tension plus forte, ne dépose que 12 grammes à l'heure. Cela tient à ce que la résistance du barreau diminue plus vite que sa force électromotrice et que, par le

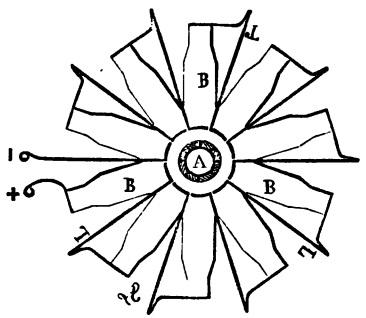
fait, la constante $\frac{E}{R}$ du couple augmente. Il résulte de là que les barreaux les plus énergiques ne sont pas ceux qui constituent les piles les plus énergiques.

J'emploie le fer préférablement au cuivre et à l'argentan, parce que ces derniers métaux sont attaqués, dissous par l'alliage, et que les armatures qu'ils constituent sont mises rapidement hors de service. Le fer, au contraire, résiste très-bien.

Ainsi construits, les barreaux thermo-électriques ont pu constituer des piles qui ne sont plus sujettes à détérioration. J'ai dû à l'obligeance de M. Jamin la faculté de faire fonctionner ces appareils dans son laboratoire de la Sorbonne et d'y continuer mes études et mes travaux. C'est ainsi qu'un de mes appareils y a fonctionné six mois sans éprouver de variation.

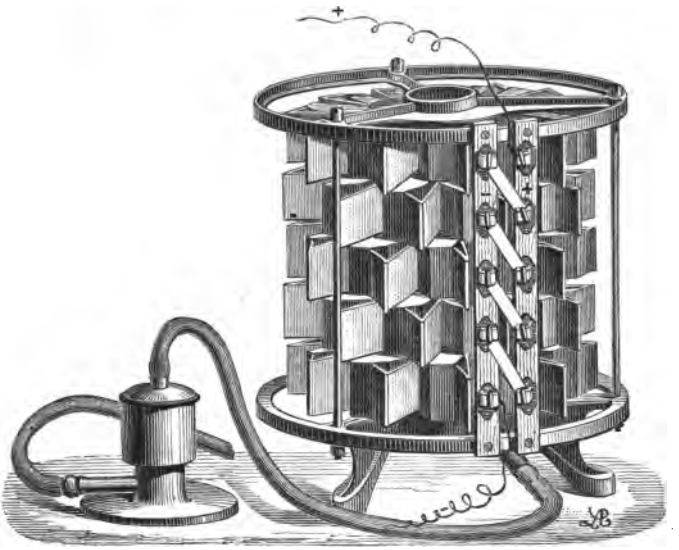
Voici, du reste, la disposition de l'appareil :

Les barreaux sont assemblés en couronnes et accouplés en tension. Ces couronnes, composées de dix barreaux chacune, sont superposées et séparées entre elles par des rondelles en amiante.



Le tout forme un cylindre dont l'intérieur est luté avec de l'amiante et chauffé au moyen d'un tuyau en terre réfractaire percé de trous. Le gaz, mélangé à l'air, sort de l'intérieur de ce tuyau et vient brûler dans l'espace annulaire compris entre le tube et les barreaux. Les extrémités des couronnes viennent aboutir à des pinces en cuivre fixées sur deux planchettes. Les couronnes peuvent être accouplées en tension ou en surface : la surface que peut recouvrir chaque couronne est de 7 décimètres carrés, ce qui fait

35 décimètres carrés pour toute la pile. On obtient alors un dépôt moyen de 20 grammes à l'heure de cuivre de bonne qualité.



La dépense du gaz est réglée au moyen d'un régulateur (rhéomètre) de M. Giroud, qui la rend invariable et met à l'abri des variations de pression.

Ainsi disposée et construite, la pile marche des mois entiers sans entretien ni surveillance, fournissant un courant absolument constant.

Le modèle présenté dépense 170 litres, c'est-à-dire environ 5 centimes de gaz à l'heure, et dépose 20 grammes de cuivre, ce qui porte la dépense de gaz par kilogramme de cuivre déposé à $2^{fr},50$. Un certain nombre de ces modèles fonctionnent depuis plusieurs mois dans les ateliers de galvanoplastie, entre autres ceux de la maison Goupil et de l'imprimerie de la Banque.

J'ajouterai, avant de terminer, que je construis des modèles de différentes grandeurs. J'ai reconnu que la quantité d'électricité augmente proportionnellement à la grosseur des pièces. Je fais donc des barreaux de dimensions très-variables et dont les poids varient de 50 grammes à 4 kilogrammes. L'expérience m'a démontré qu'à nombre égal de couples les poids de cuivre déposé étaient proportionnels aux poids des couples.

Les couples qui constituent l'appareil en question pèsent 200 grammes; trente d'entre eux équivalent à un couple de Bunsen de 18 centimètres de hauteur. La force électromotrice de l'appareil est donc à celle d'un couple de Bunsen comme 5 est à 3.

Notice sur l'appareil Duboscq pour projeter les expériences de polarisation; par M. Bertin.

Quand on passe en revue les expériences de polarisation et qu'on les étudie au point de vue de la projection, on les divise naturellement en trois classes :

1° Celles qui se font dans la lumière parallèle, avec les appareils de Malus, de Norremberg, d'Haidinger, etc., et que l'on désigne sous les noms de *polarisation blanche, chromatique, rotatoire, dichroïque,* etc.

2° Celles qui devraient se faire dans la lumière parallèle, mais qui, exigeant beaucoup de champ, ne peuvent se produire réellement que dans la lumière *divergente.* On observe encore ces phénomènes avec l'appareil de Norremberg, mais en ajoutant une lentille sur le cristal. Telles sont les franges du compensateur de Babinet, les figures du gypse, les couleurs des verres trempés, etc.

3° Enfin celles qui se font dans la lumière *convergente;* soit avec la pince à tourmalines, soit avec le microscope polarisant (1).

L'appareil Duboscq, représenté dans les *fig.* 1 et 2, permet de réaliser ces trois classes d'expériences. Il se compose de deux systèmes optiques pouvant glisser sur une règle horizontale, et qui sont destinés à recevoir et à modifier un faisceau lumineux parallèle à la règle, provenant d'une source quelconque (Soleil, lampe électrique, lampe Drummond). L'un de ces systèmes est tourné vers la source et peut recevoir le *polariseur;* l'autre est tourné vers le tableau de projection et porte l'*analyseur;* entre les deux se placent les différents corps qui doivent être traversés par la lumière.

---

(1) *Voir* ma *Notice sur le microscope polarisant* (*Annales de Chimie et de Physique,* 3e série, t. LXIX, p. 87).

Cet appareil doit être modifié de trois manières différentes pour les trois cas dont nous avons parlé et que nous désignerons par les noms de lumière *parallèle,* lumière *divergente* et lumière *convergente.*

I.

LUMIÈRE PARALLÈLE.

Les expériences dans la lumière parallèle se projettent avec l'appareil représenté dans la *fig.* 1. La partie P est tournée vers la

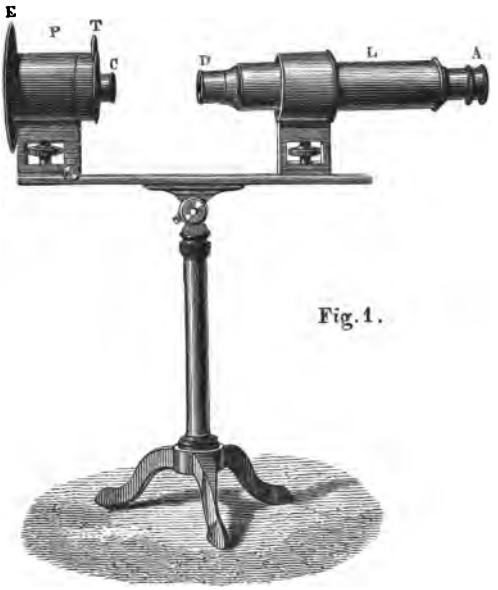


Fig. 1.

source qui lui envoie un faisceau de rayons parallèles. Ce faisceau traverse ensuite le tube AD, qui est composé de deux parties : celle qui est tournée vers la source est fixe ; l'autre est à tirage et se termine à l'intérieur par une lentille de projection L et à l'extérieur par un analyseur A. Cette disposition se prête aux cinq séries d'expériences suivantes :

1re SÉRIE. — *Polarisation blanche.*

J'ai proposé à M. Duboscq d'ajouter cette série aux expériences qu'il faisait auparavant, parce qu'elle est la base de toutes les autres.

1° *Polarisation par réflexion.* — Plaçons en P un polariseur à glace noire ou mieux encore un polariseur *Delezenne,* qui nous permettra de mettre l'appareil dans la direction de la source lumineuse. Dans la figure, la lettre T désigne un diaphragme à trous; on l'enlèvera et l'on introduira le polariseur Delezenne dans le support P, en ayant soin que le plan de réflexion de ce polariseur soit vertical. On projettera ensuite sur le tableau l'image de l'ouverture du polariseur à l'aide de la lentille L, et enfin on placera en A un analyseur formé par une glace noire inclinée de 35°25′ sur l'axe du tube :

A. Si la glace noire réfléchit verticalement, elle enverra au plafond une image brillante de l'ouverture du polariseur.

B. Cette image sera presque éteinte si la glace réfléchit horizontalement.

C. Et alors elle s'éclaircira si l'on change l'inclinaison de la glace sur le rayon.

2° *Polarisation par réfraction.* — En enlevant la glace noire de son cadre, on trouvera au-dessous une petite pile de glaces que l'on inclinera encore de 35°25′ sur le rayon :

A. Si la pile réfléchit verticalement, l'image réfléchie sera brillante, mais l'image transmise sera sombre.

B. Si la pile réfléchit horizontalement, l'image réfléchie sera sombre, mais l'image transmise deviendra plus brillante.

C. L'effet sera moins marqué si l'on enlève quelques-unes des lames de la pile, ou si l'on change son inclinaison sur le rayon.

3° *Double réfraction.* — Enlevons le polariseur Delezenne. Mettons en D un diaphragme avec une ouverture en losange portant une petite fente sur l'un de ses angles obtus, et projetons l'image de ce losange sur le tableau à l'aide de la lentille L. Enfin plaçons en A un prisme biréfringent, à image ordinaire droite, agissant par conséquent comme un rhomboèdre de spath. L'analyseur et le diaphragme sont goupillés, de manière que la face naturelle du rhomboèdre, qui est un losange, se projette sur le losange du diaphragme, et que l'angle obtus du rhomboèdre soit indiqué par la petite fente de celui-ci :

A. On voit sur le tableau deux losanges lumineux : leurs petites diagonales sont en ligne droite, ce qui prouve qu'elles indiquent la section principale, et l'on remarque de plus que l'image extraordinaire est déviée du côté de l'angle obtus du rhomboèdre.

B. En tournant le tube AD sur lui-même, l'image ordinaire tourne sur elle-même; l'extraordinaire tourne autour de la première, mais les deux images conservent leurs positions relatives.

4° *Polarisation par double réfraction.* — Remettons en place le polariseur Delezenne, toujours avec son plan de réflexion vertical, et recommençons l'expérience précédente :

A. L'image ordinaire est éteinte quand la *petite* diagonale du losange est horizontale : donc elle est polarisée suivant la *petite* diagonale.

B. L'image extraordinaire est éteinte quand la *grande* diagonale du losange est horizontale : donc elle est polarisée suivant la *grande* diagonale.

C. Quand les losanges ont leurs diagonales à 45 degrés, les deux images sont égales.

D. Quand on place devant le diaphragme un quartz parallèle épais, rien n'est changé s'il est dans l'azimut zéro; mais la polarisation disparait et les deux images sont toujours égales si la section principale du quartz est à 45 degrés de celle du polariseur.

5° *Polarisation par un Nicol.* — Remplaçons l'analyseur biréfringent par un Nicol, orienté de manière que sa base, qui est un losange, se projette sur le losange du diaphragme.

On ne verra plus sur le tableau qu'un seul losange; il sera très-brillant quand la grande diagonale sera verticale, et s'éteindra quand elle sera horizontale : donc le Nicol polarise suivant la grande diagonale de sa base, ou ne transmet que le rayon extraordinaire.

6° *Polarisation par une tourmaline.* — Remplaçons le Nicol par une tourmaline fixée dans une bonnette goupillée, de manière que, mise en place, l'axe du cristal soit parallèle à la petite diagonale du losange du diaphragme.

On verra sur le tableau une seule image en losange, qui s'éteindra quand la petite diagonale sera horizontale : donc la tourmaline polarise perpendiculairement à son axe, ou ne transmet que le rayon extraordinaire, comme le Nicol.

7° *Expérience des rhomboèdres croisés d'Huyghens.* — Enlevons le polariseur et remettons en place le diaphragme à trous T, dans lequel nous choisirons un trou de grandeur convenable, que nous projetterons sur le tableau à l'aide de la lentille L. L'analy-

seur biréfringent, replacé en A, donnera deux images écartées de ce trou. Si on lui superpose un second analyseur semblable, on verra quatre images qui, par la rotation du second prisme, pourront se réduire à deux, et même à une si les deux prismes sont parfaitement égaux.

8° *Expérience de M. Desains.* — (Elle sera décrite plus loin, au début du second article.)

2e SÉRIE. — *Dichroïsme.*

Le polariseur est enlevé : nous avons toujours en A l'analyseur biréfringent. Si nous plaçons contre l'extrémité D du tube une lame dichroïque, nous aurons précisément la loupe dichroscopique d'Haidinger. A l'aide de la lentille L, nous projetterons sur le tableau la double image de la lame.

A. Les deux images de la lame seront en général de couleurs différentes, et en tournant soit la lame, soit l'analyseur, on verra ces couleurs changer. On choisira les cristaux les plus dichroïques, tels que l'épidote, la pennine, l'acétate de cuivre, le sulfate cobalto-potassique, l'oxalate chromopotassique, le platinocyanure de magnésium, etc.

B. Expériences semblables faites avec des cubes de cristaux dichroïques que l'on fait tourner devant le diaphragme D.

3e SÉRIE. — *Polarisation chromatique* (*lames minces cristallisées*).

Dans les expériences suivantes, pour avoir plus de lumière, on polarise avec un spath qui ne doit donner qu'un seul faisceau. Ce qu'il y aurait de mieux certainement serait d'employer un gros prisme de Nicol; mais le prix en serait fort élevé, et c'est uniquement par économie que M. Duboscq fait usage du prisme biréfringent, en ayant soin d'intercepter toujours l'un des rayons. Il emploie donc pour polariseur un système de deux prismes biréfringents, achromatisés par des prismes de crown, de manière à ramener le rayon extraordinaire dans l'axe de l'appareil. Ces deux prismes ajoutent leurs déviations, et leur ensemble donne aux deux rayons un écart d'environ 11 degrés; ils se placent dans la monture du diaphragme à trous T. Comme il est absolument nécessaire de connaître le plan de polarisation, une goupille maintient le diaphragme, de telle

sorte que les sections principales des deux prismes soient horizontales. Le rayon extraordinaire, qui se meut dans l'axe de l'appareil, est alors polarisé dans un plan vertical; quant au rayon ordinaire, il est rejeté de côté, et l'on s'arrange toujours pour qu'il ne vienne pas se mêler au rayon central, ce qui détruirait la polarisation.

Le polariseur étant en place, on limite le faisceau polarisé par le diaphragme à trous T, qui permet de choisir pour chaque expérience une ouverture de grandeur convenable. On voit dans la figure que ce diaphragme porte en avant une virole C; elle est destinée à recevoir une bonnette dans laquelle est fixée la lame cristallisée. Celle-ci peut être quelconque, quartz, gypse, mica, etc. On obtiendra de belles couleurs avec un quartz parallèle, de l'épaisseur qui donne le rouge du second ordre. Il importe que la section principale de la lame soit connue; il faut donc l'indiquer sur la bonnette par une encoche ou par une saillie que l'on puisse sentir dans l'obscurité. On peut aussi placer la lame à l'extrémité D du tube AD.

L'ouverture D du tube analyseur étant assez éloignée pour que le rayon extraordinaire reste en dehors, on projettera sur le tableau l'image de la lame, en donnant un tirage convenable au tube qui porte la lentille L, puis on analysera le faisceau en A, avec l'analyseur biréfringent, dont la section principale est, comme nous l'avons vu, toujours indiquée par la ligne qui joint les centres des deux images.

A. En amenant les deux images dans la verticale, on voit qu'elles sont en général colorées de teintes complémentaires dont la superposition reproduit du blanc, et que leur éclat est maximum quand la section principale de la lame est dans l'azimut 45 degrés, et l'analyseur dans l'azimut zéro. En tournant soit la lame, soit l'analyseur, on voit les images devenir incolores, puis passer chacune à la couleur complémentaire, sans prendre d'autres teintes; en un mot on vérifie toutes les conséquences de la théorie.

B. D'autres lames tenues à la main donneront des effets analogues. On y reconnaîtra les directions du maximum de couleur, et en faisant tourner la lame autour de ces directions on pourra distinguer la section principale de la section perpendiculaire par la manière dont les couleurs varient avec l'épaisseur traversée par le rayon.

C. On peut aussi essayer de cette manière quelques substances à double réfraction accidentelle, telles que des lames d'œil de poisson, de pointes d'oursin, de gomme copal, etc.

4e SÉRIE. — *Polarisation rotatoire.*

A. Remplaçons dans la première des expériences précédentes le quartz parallèle mince par un quartz perpendiculaire épais; nous verrons encore sur le tableau deux images complémentaires, qui pourront être identiques aux premières, si les deux quartz sont convenablement choisis [1]; mais il y a entre les deux expériences deux différences caractéristiques :

1° Si l'on tourne le quartz perpendiculaire autour du rayon, les couleurs ne changent pas, tandis qu'elles changeaient quand on tournait le quartz parallèle.

2° Si l'on tourne l'analyseur, les couleurs du quartz perpendiculaire passent par toutes les teintes, tandis qu'avec le quartz parallèle elles passaient seulement à la couleur complémentaire.

B. Remplaçons l'analyseur biréfringent par un Nicol que nous mettrons d'abord à l'extinction, puis épurons la lumière par un verre rouge et mettons en place le quartz perpendiculaire : nous verrons la lumière reparaître, et il faudra pour l'éteindre tourner le Nicol, soit à droite, soit à gauche, suivant le sens de la rotation du quartz, dont on aura ainsi la mesure.

C. Répétons l'expérience avec la lumière blanche : en tournant le Nicol, nous n'éteindrons plus l'image, mais nous la ferons passer par diverses teintes. Si la teinte monte, c'est-à-dire si elle varie du rouge au bleu, dans l'ordre des couleurs du spectre, c'est que le Nicol a été tourné dans le sens de la rotation du quartz : si elle baisse (bleu, jaune, rouge), c'est qu'on a tourné le Nicol en sens contraire. Quand on est arrivé à la *teinte sensible en passant du bleu au rouge,* la rotation du Nicol mesure la rotation du quartz pour les rayons jaunes.

D. Couleur du quartz de diverses épaisseurs, avec le Nicol à zéro.

E. Plaque à deux rotations.

F. Chlorate de soude.

---

[1] Le quartz de 6 millimètres, dont Arago se servait toujours, convient très-bien; il donne le rouge du second ordre comme notre quartz parallèle.

G. Plaque à deux rotations avec chlorate de soude.

H. Pouvoir rotatoire du cinabre, du sulfate de strychnine, du periodate de soude, des hyposulfates de potasse, de strontiane et de plomb ; mais on a difficilement de bons échantillons de tous ces corps.

I. Pouvoir rotatoire des liquides, eau sucrée, essence de térébenthine, acide tartrique, etc. On les renferme dans un tube placé entre l'analyseur et la plaque à deux rotations.

J. Saccharimétrie : on peut monter sur l'appareil toutes les pièces du saccharimètre, et projeter par conséquent une expérience complète de saccharimétrie par la méthode de M. Soleil.

5e SÉRIE. — *Polarisation circulaire et elliptique.*

En mettant un mica d'un quart d'onde sur le trajet de la lumière polarisée, la polarisation reste rectiligne si le mica est dans l'azimut zéro; elle devient circulaire s'il est à 45 degrés; enfin elle est elliptique si sa section principale fait avec le plan de polarisation un angle compris entre zéro et 45 degrés. Si le rayon traverse en même temps une lame cristallisée, la lumière est polarisée elliptiquement en entrant ou en sortant, ou des deux côtés à la fois; les images changent de couleur, et l'on peut faire rendre à une lame parallèle les effets d'un quartz perpendiculaire.

Pour projeter ces phénomènes, nous analyserons avec un Nicol, que nous mettrons d'abord à l'extinction; puis nous placerons devant le diaphragme à trous notre quartz parallèle dans la position où il donne le maximum de coloration.

A. Si maintenant nous plaçons en D un mica d'un quart d'onde, et que nous tournions, soit ce mica, soit l'analyseur, nous verrons l'image passer par des teintes semblables à celles de la polarisation rotatoire.

B. Le mica que nous avons mis en D porte une virole dans laquelle nous pouvons introduire la bonnette de la lame. Plaçons ensuite un second mica dans le porte-cristaux C. Disposons les trois bonnettes de manière que la section principale de la lame soit à 45 degrés des sections principales des deux micas, celles-ci étant parallèles ou croisées. Dans les deux cas, en tournant l'analyseur, on verra des images se teindre de couleurs analogues à celles de la polarisation rotatoire.

C. Elles seront identiques si les micas sont croisés. Le quartz parallèle, placé entre ces deux micas (toujours à 45 degrés de leurs sections principales), se comportera exactement comme un quartz perpendiculaire droit ou gauche, suivant que sa section principale sera à droite ou à gauche de celle du mica polariseur.

D. Réciproquement, le quartz perpendiculaire, placé entre deux micas d'un quart d'onde croisés, perd son pouvoir rotatoire et se comporte comme une lame unique parallèle à l'axe [1].

II.

LUMIÈRE DIVERGENTE.

L'appareil pour la lumière divergente et pour la lumière convergente est représenté dans la *fig.* 2. Nous supposerons d'abord qu'on a enlevé la pince P.

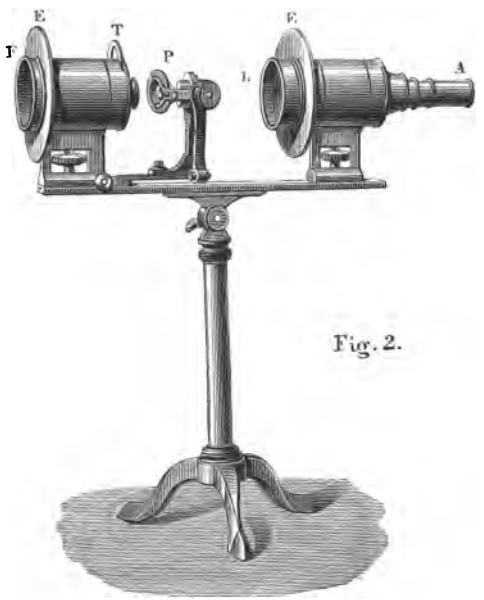


Fig. 2.

Le système analyseur est entièrement différent du précédent. Il

(1) *Voir* la Note de M. Soleil dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XX, p. 214. *Voir* aussi, à la page 207 du même volume, la Note de M. Reusch, à laquelle on pourra emprunter plusieurs expériences intéressantes.

se compose d'une grande lentille de champ L (diamètre 5 centimètres; foyer 7 centimètres) et d'un Nicol analyseur A qui porte lui-même, à l'entrée des rayons lumineux, une petite lentille (diamètre $1^c,6$; foyer 13 centimètres) [1].

Le polariseur est peu changé : il a suffi de lui ajouter en F un focus, c'est-à-dire une lentille convergente (diamètre $5^c,5$; foyer 7 centimètres). Ce focus, qui est habituellement composé de deux lentilles plan-convexes, fait converger les rayons à une petite distance en avant du diaphragme à trous. Réunis en ce point, ces rayons divergent de nouveau et viennent éclairer tout le champ de la lentille L du système analyseur.

C'est contre cette lentille que l'on place successivement les lames de grande dimension que l'on veut observer. Elles sont autant que possible montées sur des liéges; on les place alors dans une bague qui s'introduit dans la monture de la lentille. Ces lames sont éclairées sur toute leur surface par le faisceau divergent, et le système convergent formé de la lentille de champ et de celle du Nicol projette l'image de ces lames sur le tableau.

1re SÉRIE. — *Polarisation chromatique.*

Lames minces cristallisées de grande dimension. — Placez toujours le Nicol à l'extinction et les lames dans l'azimut 45 degrés.

A. *Quartz parallèle, disque concave.* — Ce quartz donne des anneaux : en le combinant avec un quartz parallèle mince, on voit les anneaux changer de couleur, et, si l'épaisseur est convenable, il se forme un anneau noir quand les sections principales sont croisées.

B. *Quartz (ou gypse) parallèle prismatique.* — Donnant des bandes colorées plus ou moins étalées. Une même lame peut donner ainsi trois spectres d'interférence, par exemple du premier au troisième ordre, ou du troisième au cinquième ordre.

---

[1] Ce système constitue un excellent analyseur à projection, qui, substitué au tube AD de la *fig.* 1, donnerait un appareil à lumière parallèle avec lequel on pourrait répéter les expériences des quatre dernières séries. Il serait cependant utile, dans ce cas, d'allonger le foyer de la lentille L et de diminuer son diamètre; on obtient ce résultat en lui accolant une lentille divergente pour obtenir un système de $16^c,5$ de foyer (diamètre $2^c,5$). On peut alors enlever la lentille du Nicol, ou bien on analysera avec le prisme biréfringent.

C. *Compensateur de Babinet.* — Il est formé par deux quartz prismatiques parallèles, égaux, renversés et croisés. Il donne toujours des bandes parallèles avec une raie noire au milieu.

D. *Figures des lames de gypse, étoile, fleur, papillon, etc.* — Très-belles figures colorées. En tournant l'analyseur, on ne peut changer les couleurs qu'en les faisant passer à la teinte complémentaire, par exemple du rouge au vert. Si l'on veut obtenir une plus grande variété de teintes, il faut recourir à la polarisation elliptique; il suffit de faire tourner devant la lame un mica d'un quart d'onde, que l'on aura placé dans le porte-cristal C du diaphragme à trous [1]. (*Voir* la sixième série de la lumière parallèle.)

2e SÉRIE. — *Polarisation rotatoire.*

Quartz perpendiculaire de grande dimension. — Les figures que l'on obtient devraient être à teintes plates et le seraient certainement si la lumière était bien parallèle; mais, comme elle est divergente, les diverses parties des lames ne sont pas traversées sous la même épaisseur, et par conséquent on voit, ici surtout, où les lames sont épaisses, des changements de teinte qui altèrent un peu les figures normales. C'est un inconvénient dont il faut prendre son parti, parce qu'on ne pourrait le faire disparaître qu'en compliquant l'appareil.

A. *Améthyste.*

B. *Quartz anormaux divers.*

C. *Quartz à deux rotations.* — Il est bon que ce quartz ait une épaisseur qui donne la teinte sensible quand le Nicol est à l'extinction. Alors, quand on tourne le Nicol, les deux moitiés de la lame séparées par une ligne noire frangée virent l'une au bleu, l'autre au rouge.

D. *Biquartz prismatique de Soleil.* — Il est formé par deux prismes égaux de quartz droit et gauche, accolés par leurs bases triangulaires et achromatisés par un prisme de crown, de même angle, collé sur le plan hypoténuse commun. Quand l'analyseur est à l'extinction, cette lame composée donne un seul spectre dont les couleurs correspondent à l'inégale épaisseur du quartz; mais, si

---

[1] M. Duboscq a aussi adapté un porte-mica à son Nicol, mais on peut s'en passer. Il n'est même pas commode, parce qu'on ne sait jamais comment ce mica est tourné.

l'on tourne l'analyseur, les couleurs varient en sens contraires dans les deux prismes, et le spectre d'abord unique se sépare en deux spectres juxtaposés dont les couleurs ne se correspondent plus.

E. *Polariscope de Senarmont.* — Il est formé en remplaçant dans l'appareil précédent le prisme de crown par deux prismes de quartz, de rotations contraires, mais disposés en sens inverse des premiers. Quand l'analyseur est à l'extinction, cet appareil donne dans chaque moitié une ligne noire de même direction; mais, dès que l'analyseur tourne, les deux lignes noires se séparent.

3e SÉRIE. — *Double réfraction irrégulière.*

A. *Verres trempés* de différentes formes.

B. *Larmes bataviques,* soit nues, soit placées dans une cuve à faces parallèles remplie d'acide phénique.

C. *Verre chauffé.* — Ces verres donnent des lignes noires, ou même des couleurs tant qu'ils s'échauffent. Lorsqu'une fois ils ont pris dans toute leur masse la température de la pince chaude dans laquelle ils sont placés, toute trace de trempe disparaît. Si en ce moment on enlève le verre, qui est chaud, pour refroidir la pince seule, en la plongeant dans l'eau froide, et si l'on remet le verre chaud dans la pince froide, les couleurs de la trempe reparaissent.

D. *Verre comprimé.* — L'axe de pression étant dans l'azimut 45 degrés.

E. *Verre ployé.* — Le Nicol étant toujours à l'extinction, si l'on ploie la lame lorsqu'elle est dans l'azimut 45 degrés, on voit une ligne courbe noire se former au milieu. L'image peut être colorée, en mettant dans le porte-cristal C, devant le diaphragme à trous, une lame parallèle mince, par exemple le quartz parallèle qui donne le rouge du second ordre. Si la section principale du quartz est parallèle à la lame, on voit dans l'image projetée la courbe noire qui devient rouge, tandis que la lame devient verte dans la partie convexe et jaune dans la partie concave. La partie convexe ou dilatée de la lame a donc agi sur le quartz pour augmenter son épaisseur; elle a donc pris une double réfraction, de même signe que le quartz ou *positive,* tandis que la partie concave ou comprimée est devenue *négative.* Le verre comprimé de l'expérience D produit un effet analogue.

F. *Verre vibrant.* — Ce verre, dans les parties nodales, se comporte comme un verre comprimé.

G. Les plaques de plusieurs substances, comme la corne, les gommes, les résines, la colle-forte, etc., donnent des couleurs comme les verres trempés.

SUPPLÉMENT AUX DEUX CHAPITRES PRÉCÉDENTS.

1° *Spectres cannelés.*

Cette expérience, qui ne réussit bien qu'avec une lumière très-intense, comme celle du Soleil ou de la lampe électrique, se fait dans la lumière parallèle.

On enlève donc le focus F de la *fig.* 2, puis on met devant le diaphragme à trous une fente verticale.

On ajoute à la lentille L la lentille divergente qui allonge son foyer, et l'on enlève la lentille du Nicol, ou bien on le remplace par un prisme biréfringent, et l'on projette l'image de la fente sur le tableau ; en un mot, on dispose l'appareil comme il a été dit dans la Note du chapitre précédent.

En dévissant la monture de l'analyseur, on voit qu'elle porte en dedans un tube court ; on y introduit un petit prisme à vision directe, on remet la monture en place et l'on tourne le tube jusqu'à ce que l'arête du prisme soit parallèle à la fente. On voit alors sur le tableau un ou deux spectres, suivant qu'on analyse avec le Nicol ou avec le prisme biréfringent. On met l'analyseur au zéro, ce que l'on reconnaît à ce caractère, que le spectre extraordinaire est éteint.

Si ensuite on place devant la fente une lame cristallisée, dont la section principale soit à 45 degrés, on voit les spectres se séparer de bandes transversales noires qui sont d'autant plus serrées que la lame est plus épaisse.

On peut faire la même expérience avec un quartz perpendiculaire. S'il n'est pas trop épais, on voit naître dans le spectre une large bande noire qui s'avance vers le bleu, quand on tourne l'analyseur dans le sens de la rotation du quartz (ce sens étant déterminé par un œil placé derrière le tableau).

Avec des quartz perpendiculaires plus épais, on peut avoir plusieurs bandes, et même le spectre tout à fait cannelé.

2° *Expérience de M. Desains.*

On peut aussi avec l'appareil Duboscq projeter l'expérience de M. Desains sur les deux nappes de la surface de l'onde du spath, en modifiant l'appareil de la *fig.* 2 de la manière suivante.

Dans le support qui est près de la source, on ne laissera que le diaphragme à trous, dont on choisira la plus grande ouverture. Dans la virole C, on introduira une bonnette qui porte un diaphragme circulaire avec trou central, et par derrière une petite lentille très-convergente. Il sort de ce diaphragme deux faisceaux de lumière, l'un cylindrique et l'autre formé par une nappe conique très-convergente.

Dans le support tourné vers le tableau, on ne laissera que la lentille L (*fig.* 2) et, en faisant glisser le support, on projettera l'image du diaphragme. On verra alors sur le tableau un grand anneau lumineux dont le centre sera marqué par un petit disque, image du trou central.

On a enlevé le support à pince P; on le remplacera par un support à tablette, sur lequel on placera devant le diaphragme un gros spath taillé en lame épaisse, suivant trois directions.

La première est normale à l'axe de la lame;

La deuxième est parallèle à l'axe;

La troisième est oblique, les faces étant les faces naturelles du rhomboèdre.

L'interposition du spath changeant le foyer de la lentille L, les images qu'il donne seront d'abord diffuses. On les rendra nettes en déplaçant le support de la lentille; mais, en se rappelant que les indices du spath sont différents, on comprend que les deux images ne peuvent pas être en même temps d'une netteté parfaite.

A. Si le spath est *perpendiculaire* à l'axe, on voit sur le tableau deux anneaux concentriques; l'anneau intérieur est ordinaire.

B. Si le spath est *parallèle* à l'axe, l'image ordinaire est un anneau circulaire; l'image extraordinaire est une ellipse ayant le même centre, mais coupant le cercle en quatre points.

C. Si le spath est *oblique*, l'image ordinaire est toujours le même anneau, et l'image extraordinaire est encore une ellipse; mais l'ellipse et le cercle n'ont pas le même centre et se coupent en deux

points. Les disques qui marquent les centres des deux images sont les deux images du trou central.

L'expérience est encore plus intéressante dans la lumière polarisée, surtout si l'on colore les images avec un quartz, mais il faut alors polariser avec un gros Nicol; notre polariseur biréfringent donnerait deux faisceaux qu'on ne pourrait plus séparer et, par conséquent, l'effet serait nul (1).

III.

LUMIÈRE CONVERGENTE.

L'appareil pour la lumière convergente est représenté tout entier dans la *fig.* 2. Nous avons déjà vu que le focus F fait converger les rayons au delà du diaphragme à trous T. Comme il est ici plus important que jamais d'éliminer complétement le rayon extraordinaire, nous choisirons donc le plus petit trou du diaphragme, ou mieux encore nous placerons en C un diaphragme portant un trou qui aura au plus 5 millimètres de diamètre.

C'est un peu au delà de ce trou qu'est le foyer du focus F, et c'est un peu en deçà que nous placerons le cristal tenu avec la pince mobile P.

Les rayons du cône de lumière incidente, après s'être coupés dans l'intérieur du cristal, tomberont divergents sur la petite lentille I, montée sur le même support que la pince pour être très-près du cristal. Cette lentille très-convergente (diamètre 2 centimètres, foyer 2 centimètres) réunira tous ces rayons sur la grande lentille de champ L. Celle-ci les rendra convergents et les fera tous passer à travers le Nicol A, dont la lentille pourra être enlevée si l'on veut. En faisant glisser le support analyseur sur sa règle, on trouvera une position qui projettera distinctement sur le tableau les franges produites par le cristal, et on les amènera au centre du champ par un mouvement convenable de la pince P.

1re SÉRIE. — *Cristaux uniaxes perpendiculaires.*

A. *Anneaux du spath.* — Croix noire, croix blanche, croix grise.

B. Anneaux de divers autres cristaux. En superposant à un cristal

(1) *Voir* le *Traité de Physique* de M. Desains, t. II, p. 430.

positif un prime de spath perpendiculaire, on fait disparaître la coloration des anneaux, comme dans l'apophyllite.

C. Anneaux de la glace (placée dans une petite cuve) à faces parallèles.

D. Cristaux singuliers, spath hémitrope.

E. Hémitropie artificielle : elle se produit avec un mica d'un quart d'onde, placé dans l'azimut 45 degrés, entre deux quartz perpendiculaires de même épaisseur.

F. *Anneaux d'Airy.* — Ils se produisent quand on place d'un côté du cristal un mica d'un quart d'onde dans l'azimut 45 degrés. Ces anneaux sont formés de quatre segments complémentaires. Les deux plus petits ressemblent à deux taches placées de chaque côté du centre : ces taches servent à reconnaître le signe des cristaux. Quand la ligne des taches et l'axe du mica sont croisés (+) le cristal est positif : quand ces directions se superposent (—) le cristal est négatif [1].

G. *Anneaux sans croix.* — Ils ont aussi été découverts par Airy. On les produit en mettant de chaque côté du cristal deux micas d'un quart d'onde, parallèles ou croisés dans l'azimut 45 degrés. Ces anneaux sont à centre noir si les micas sont croisés et le Nicol à l'extinction. Ils deviennent complémentaires si l'on tourne de 90 degrés, soit le Nicol, soit l'un des micas.

H. *Franges dans la lumière polarisée elliptiquement* — Dans les anneaux d'Airy la lumière était polarisée rectilignement d'un côté et circulairement de l'autre ; dans les anneaux sans croix, elle était polarisée circulairement des deux côtés. Il suffit de déplacer l'un ou l'autre des micas, ou tous les deux à la fois, pour que la lumière soit polarisée elliptiquement, et l'on voit alors les anneaux se déformer [2].

2e SÉRIE. — *Cristaux à pouvoir rotatoire.*

A. *Anneaux du quartz.* — La croix noire ne va pas jusqu'au centre ; en tournant l'analyseur les anneaux s'agrandissent ou se rapetissent suivant le sens de la rotation du quartz.

C. *Spirale d'Airy.* — Placez le Nicol à l'extinction et mettez

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique,* 4e série, t. XIII, p. 245.
(2) *Annales de Chimie et de Physique,* 3e série, t. LVII, p. 257.

devant le diaphragme un mica d'un quart d'onde dans l'azimut 45 degrés; les anneaux du spath se déformeront, le premier se transformera en deux spirales qui s'enrouleront (à partir du centre) dans le sens de la rotation du quartz.

C. *Double spirale d'Airy.* — On l'obtient par la superposition de deux quartz de rotations contraires et de même épaisseur. Les quatre branches des spirales s'enroulent (à partir du centre) dans le sens de la rotation du quartz qui est le plus près de l'analyseur.

D. *Quartz singulier.* — Les macles dans le quartz ne sont pas rares, et il en résulte qu'on peut obtenir dans le même cristal des anneaux sans croix, des anneaux avec croix et les doubles spirales d'Airy, soit droites, soit gauches. On obtient, notamment, cette double spirale avec le quartz à deux rotations, en faisant tomber la lumière sur le milieu de la macle, c'est-à-dire de cette partie qui donnait des franges parallèles dans la lumière parallèle (II, 2e série, C).

E. On obtient les phénomènes du quartz avec d'autres cristaux, tels que le cinabre, le sulfate de strychnine, le periodate de soude et les hyposulfates de potasse, de plomb et de strontiane; mais presque tous les échantillons sont trop petits pour la projection.

3e SÉRIE. — *Cristaux obliques.*

Les cristaux obliques isolés ne donnent des franges que dans la lumière homogène (flamme de l'alcool salé) : ce sont des arcs de courbe dont il est souvent impossible de distinguer la nature, mais qui en réalité sont toujours des courbes du second degré, ellipses, paraboles, hyperboles, suivant la taille du cristal, c'est-à-dire suivant l'inclinaison de l'axe.

La lumière homogène est encore nécessaire pour observer les franges des cristaux obliques superposés de manière que leurs sections principales soient parallèles sans que leurs axes le soient. Quand ils ont même épaisseur, ils donnent alors les franges curieuses découvertes par Ohm : 1° des ellipses centrées, quand l'inclinaison de l'axe est moindre que celle qui donnerait des paraboles avec les cristaux isolés; 2° des lignes droites dans ce cas limite; 3° des hyperboles centrées conjuguées, mais non équilatères, si le cristal est plus oblique.

Il n'en est plus de même quand les sections principales des deux

cristaux sont croisées : nous supposerons encore les deux cristaux de même épaisseur. On peut alors observer et projeter leurs franges dans la lumière blanche. Ce sont toujours des hyperboles conjuguées équilatères ; mais ces hyperboles ne sont centrées que quand les cristaux sont parallèles à l'axe. Pour bien voir ces franges, il faut toujours mettre le Nicol à l'extinction et les sections principales des lames dans l'azimut 45 degrés.

A. *Quartz parallèles* croisés. — Hyperboles centrées, conjuguées et équilatères.

B. *Spaths parallèles* croisés. — Les franges sont les mêmes, elles ont souvent plus d'éclat.

C. *Gypses de clivages* croisés. — Les franges sont encore les mêmes, quoique le gypse soit un cristal biaxe. On les obtient donc avec toute espèce de cristaux, pourvu qu'ils soient taillés parallèlement au plan des axes.

D. Les sommets des hyperboles sont toujours dans les deux sections principales des cristaux, et par conséquent leurs asymptotes sont sur les bissectrices de ces sections. Avec notre système de projection, elles sont donc l'une verticale et l'autre horizontale ; mais elles ne seront marquées par une croix noire que si les deux cristaux ont bien exactement la même épaisseur. On peut compenser la différence d'épaisseur et obtenir la croix noire en ajoutant une lame parallèle orientée convenablement, par exemple un mica que l'on fera tourner autour du rayon devant le diaphragme C.

E. *Hyperboles mobiles de Savart.* — On les obtient avec deux quartz parallèles prismatiques glissant l'un sur l'autre, ou plus simplement avec deux quartz parallèles prismatiques C (comme ceux du compensateur de Babinet), collés ensemble, et que l'on fait glisser dans le faisceau lumineux. Dans les deux cas, on trouve toujours une position pour laquelle le rayon traverse les deux quartz sous la même épaisseur, et alors les asymptotes sont marquées par une croix noire.

F. *Quartz obliques croisés, polariscope de Savart.* — Les franges sont des queues d'hyperboles, qui, vues dans une petite étendue, ressemblent à des lignes droites parallèles. Ces lignes sont toujours parallèles à l'une des bissectrices des sections principales. En tournant le système des deux lames, on voit que la frange centrale est noire quand elle est verticale, comme le plan de polarisa-

tion de la lumière incidente. La direction de la frange noire sert donc à reconnaître le plan de polarisation.

4e SÉRIE. — *Cristaux biaxes perpendiculaires.*

Quand les cristaux biaxes ne sont pas très-bien taillés, il faut un peu tâtonner avec la pince P pour amener leurs franges sur le tableau; mais on y parvient toujours, pourvu que ces cristaux ne soient pas trop minces et que leurs axes ne soient pas trop écartés.

A. *Cristaux perpendiculaires à l'un des axes.* — Les franges sont des anneaux traversés par une ligne noire, qui tourne avec le cristal en restant toujours perpendiculaire au plan des axes. Ces anneaux se distinguent de ceux des uniaxes, non-seulement par l'absence de la croix, mais encore par leurs grandeurs relatives. Ils sont en effet équidistants, c'est-à-dire que leurs rayons croissent comme les nombres naturels 1, 2, 3, 4,..., tandis que les anneaux des uniaxes ont des rayons qui croissent comme les racines carrées des mêmes nombres.

B. *Cristaux perpendiculaires à la ligne moyenne.* — Les franges sont des lemniscates coupées par une hyperbole noire, dont les deux branches passent toujours par leurs pôles, c'est-à-dire par le centre des anneaux qui font partie du système de ces courbes. Elles ont leur maximum d'éclat quand la ligne des pôles est dans l'azimut 45 degrés (le Nicol analyseur est toujours supposé à l'extinction). Dans ce cas, les deux lignes neutres hyperboliques sont équilatères et ont pour axes la ligne des pôles. Si, au contraire, la ligne des pôles est dans l'azimut zéro (ou 90 degrés), les deux lignes neutres forment une croix noire : dans les cristaux à axes peu écartés, les franges ont alors quelque ressemblance avec les anneaux des uniaxes.

C. *Signe des cristaux biaxes.* — Quand la ligne des pôles est dans l'azimut 45 degrés, si l'on place, sur le trajet des rayons lumineux (par exemple, derrière la lentille I), un quartz perpendiculaire, et qu'on le fasse tourner autour d'une ligne parallèle ou perpendiculaire à la ligne des pôles, il y a une des rotations qui produira l'effet que voici : les anneaux qui entourent les pôles s'allongeront, ils finiront par venir se rencontrer au centre du champ, pour former la courbe en 8; puis cette courbe se brisera et

ses deux branches s'écarteront perpendiculairement à la ligne des pôles. Dans ce cas, si l'axe de rotation du quartz est perpendiculaire à la ligne des pôles, de telle sorte que ces deux lignes en se superposant figurent le signe +, le cristal est *positif :* si, au contraire, les deux lignes sont parallèles, de sorte qu'en se superposant elles figurent le signe —, le cristal est *négatif* (1).

D. *Cristaux maclés, aragonite.* — Les macles ne sont pas rares dans les biaxes, et surtout dans l'aragonite. Le système des lemniscates, au lieu d'être simple, peut alors être double ou même triple.

E. *Cristaux croisés.* — Les biaxes perpendiculaires croisés montrent quatre systèmes d'anneaux sur les bords du champ et, vers le centre, des courbes semblables à des hyperboles conjuguées. Exemple : aragonites, micas, topazes, titanites, etc., perpendiculaires à la ligne moyenne et superposés, de manière que les plans des axes soient perpendiculaires entre eux.

F. *Cristaux à axes de diverses couleurs croisés.* — Les mélanges des deux sels de Seignette donnent des cristaux dans lesquels le plan des axes rouges est perpendiculaire à celui des axes bleues. Il en est de même de quelques cristaux naturels, tels que la brookite, la glaubérite, le mellitate d'ammoniaque, etc. Les franges ressemblent aux précédentes. Si la lumière est assez intense, on peut observer avec un verre rouge et avec un verre bleu ; on voit alors les deux systèmes d'axes séparément.

5e SÉRIE. — *Déplacement des axes par la chaleur.*

Ce déplacement s'observe dans plusieurs cristaux, tels que la glaubérite, le feldspath, la kaluszite, le gypse. Dans les deux premiers la chaleur produit un écart des axes ; dans le second les axes s'écartent ou se rapprochent ; dans les deux derniers la chaleur rapproche d'abord les axes, puis les écarte ensuite dans un plan perpendiculaire au premier. C'est dans le gypse que le phénomène est le plus brillant.

Les cristaux qui doivent être chauffés sont taillés perpendiculairement à la ligne moyenne et montés sur une lame de cuivre que l'on place dans la pince P. Quand les franges sont projetées, on

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XIII, p. 251.

chauffe l'extrémité de la lame avec une lampe à alcool ; la chaleur se propage de proche en proche jusqu'au cristal, et l'on voit les lemniscates se déplacer sur le tableau. Pour le gypse surtout, il faut prendre garde d'aller trop loin, car la chaleur le rendrait opaque en le transformant en plâtre : on évitera cet inconvénient en enlevant la lampe lorsque les axes seront rapprochés jusqu'au contact ; la chaleur, continuant à se propager dans le cristal, poussera les axes dans un plan perpendiculaire au premier, puis ils reviendront à leur position primitive lorsque le gypse se refroidira.

DESIDERATUM.

On voit que l'appareil Duboscq permet de projeter un très-grand nombre de phénomènes de polarisation : il permet aussi de les observer tous en mettant l'œil à l'analyseur, et tournant le polariseur vers la lumière (1). On peut dire qu'il est complet pour la lumière parallèle et pour la lumière divergente ; mais on est obligé de reconnaître qu'il laisse encore beaucoup à désirer pour la lumière convergente. Sous ce rapport, il est bien inférieur au microscope polarisant ; il se refuse, en effet, à la projection des franges des cristaux trop minces, ou à celle des biaxes dont les axes sont trop écartés. On projette bien le nitre, dont les axes sont écartés de 9° 15′, le carbonate de plomb dont les axes font un angle de 16° 45′, et même encore assez bien l'aragonite dans laquelle l'écart extérieur est de 31 degrés ; mais il est impossible d'aller au delà. Ainsi, 30 degrés à peu près, tel est la convergence du cône de lumière donné par le focus.

Ce n'est pas assez, un grand nombre de phénomènes intéressants ne peuvent être observés que dans les cristaux à axes plus écartés. Je citerai, par exemple, la dispersion des axes de diverses couleurs dans les sels de Seignette, et les trois genres de dispersion caractéristiques des cristaux du système clinorhombique, et dont les trois types sont fournis par le gypse, le feldspath et le borax. La plus brillante des expérienees de l'optique cristallographique, le déplacement des axes du gypse par la chaleur, ne peut être faite

(1) Notons cependant que pour la lumière convergente il faut remplacer les prismes par un polariseur à une seule image, tel qu'une glace noire ou un Nicol.

que très-difficilement avec notre appareil, parce que, les axes de ce cristal étant en dehors du champ, les franges ne peuvent être projetées avant que le gypse ne soit échauffé. Enfin, bien des cristaux, tant uniaxes que biaxes, ne peuvent être obtenus en lames assez épaisses pour donner des franges dans un faisceau si peu convergent.

M. Duboscq a bien essayé de lever la difficulté en adaptant à son appareil le focus et l'objectif du microscope polarisant : cette disposition, convenable pour l'observation individuelle, ne donne pas assez de lumière pour les projections. Il faut renoncer à obtenir un champ aussi considérable que celui du microscope ; mais entre ce champ qui est de 125 degrés et celui de notre appareil qui n'est que de 30 degrés, il y a place pour bien des perfectionnements, et si l'on pouvait seulement doubler le champ de l'appareil de projection, ce serait déjà une amélioration considérable, et elle serait probablement suffisante.

P. S. — Pendant l'impression de cette Note, nous avons à peu près résolu le problème en enlevant la première lentille des deux systèmes du microscope polarisant, et en déplaçant un peu la lentille oculaire : mais il faut polariser avec un Nicol. On peut alors projeter le gypse, dont les axes font un angle de 97 degrés dans l'air, et cependant la lumière est bien suffisante.

SÉANCE DU 22 MAI 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures précises.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Deleuil, ingénieur constructeur, est élu membre de la Société.

La parole est donnée à M. Gayon, qui répète sous les yeux de la Société une expérience de M. Gay, destinée à montrer l'énorme dilatation d'un fil de platine lors de son passage de la température ordinaire à la température au rouge vif.

M. Jamin expose ensuite ses recherches sur le magnétisme ; il montre comment il est parvenu à mesurer la quantité totale de magnétisme d'un barreau aimanté. La conclusion à laquelle il est

parvenu peut se résumer en un énoncé très-simple : la quantité totale de magnétisme que peut acquérir un barreau, dans des circonstances données, est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle à la section centrale du barreau.

La séance est levée à 9 heures et demie.

SÉANCE DU 12 JUIN 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures précises.

Le procès-verbal de la séance précédente est lu et adopté.

MM. West, intendant militaire en retraite; Turrière, professeur de mathématiques au collége de Béziers, sont élus membres de la Société.

La parole est donnée à M. Gréhant, qui met sous les yeux de la Société un petit appareil imaginé par M. Ludwig, permettant de mesurer le débit des vaisseaux sanguins : c'est une espèce de siphon reversible, de capacité donnée, qu'on peut alternativement emplir et vider à l'aide d'un retournement mécanique : l'appareil fonctionne devant la Société.

M. Cornu décrit ensuite un sphéromètre optique, destiné à mesurer spécialement les courbures des surfaces employées en optique : c'est un levier à bascule dont le déplacement angulaire se mesure à l'aide d'un miroir et d'une échelle divisée.

L'avantage de cet instrument est de dispenser les physiciens de l'emploi du sphéromètre, dont le pas de vis est toujours difficile à comparer avec les étalons de longueur, règles, vis de machines à diviser, etc.

A l'occasion de cette communication, M. Mascart explique comment, à l'aide des anneaux colorés monochromatiques, on peut mesurer les courbures très-faibles de lames transparentes, dans le cas où le sphéromètre serait tout à fait en défaut.

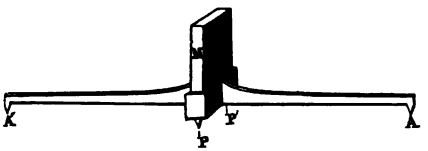
La séance est levée à 9 heures et demie.

Sur le levier à réflexion; par M. A. Cornu.

La nécessité de mesurer de petites longueurs en valeur absolue m'a conduit à employer un dispositif expérimental applicable à une foule de cas; je l'appellerai *levier à réflexion,* et décrirai une de ses applications à la mesure de petites épaisseurs et à celle de la *courbure* des surfaces cylindriques et sphériques : sous cette forme on peut le nommer le *sphéromètre à réflexion.*

Imaginons un fléau de balance (*fig.* 1) reposant sur un couteau

Fig. 1.



ou mieux sur deux pointes P, P′ et présentant à chaque extrémité une pointe A et A′.

Il porte en son milieu un miroir plan parallèle à la ligne des deux pointes PP′ et perpendiculaire à la ligne des deux autres AA′. Il est en équilibre instable lorsque la ligne AA′ est horizontale; on allége la monture centrale de façon que le centre de gravité soit aussi près que possible de l'axe AA′.

Imaginons ce levier placé sur un plan et les quatre pointes réglées de façon à poser à la fois sur la surface d'un plan; plaçons sous les pointes P, P′ une lame à faces parallèles (*fig.* 2), dont on veut connaître l'épaisseur; alors le levier ne portera plus sur les quatre pointes : on pourra le faire basculer autour de l'axe PP′.

Si l'on observe l'angle dont le levier se déplace dans cette rotation (ce qui est très-aisé avec une lunette et une échelle divisée se réfléchissant dans le miroir), on déduira de la longueur du levier l'épaisseur ε qu'on désire obtenir.

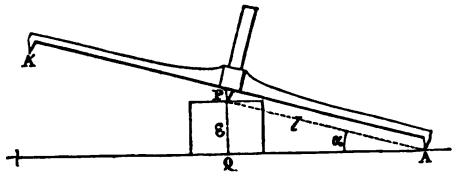
En effet, dans le triangle PAQ, on a

$$\sin \mathrm{PAQ} = \frac{\varepsilon}{l},$$

l étant la demi-longueur du levier.

Le mouvement de bascule double cet angle, et la réflexion double encore une fois, de sorte qu'on observe quatre fois l'angle PAQ.

Fig. 2.



Si l'épaisseur est petite par rapport à la demi-longueur du levier, on pourra remplacer les sinus et tangentes par les arcs, de sorte que l'on pourra écrire

$$\varepsilon = l\alpha,$$

α étant le quart de l'angle mesuré sur l'échelle divisée, c'est-à-dire tel que

$$\frac{n - n'}{4D} = \alpha,$$

n et n' étant les points de division extrêmes visés par la lunette, et D la distance du miroir à l'échelle.

L'observation que nous venons de décrire suppose que les quatre pointes sont dans un même plan : on arrive assez aisément à cette condition en prenant pour AA′ les pointes de deux vis à filet très-petit : avec quelques précautions dans la manœuvre, on arrive à serrer ou desserrer l'une d'elles de façon que le mouvement de bascule devienne de plus en plus petit, lorsque l'appareil est posé sur un plan.

Mais on peut se passer de ce réglage à l'aide d'une observation préliminaire. En effet, supposons que la ligne AA′ soit située au-dessus de l'axe de rotation PP′ à une distance h : lorsqu'on fera basculer le levier sur un plan, on observera un angle de rotation α_0, tel que

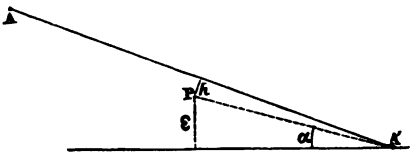
$$\sin \alpha_0 = \frac{h}{l} \quad \text{ou simplement} \quad \alpha_0 = \frac{h}{l},$$

d'où l'on conclura la quantité h.

Si maintenant on veut mesurer une autre épaisseur ε (*fig.* 3),

le déplacement angulaire du levier correspondra à la somme de l'angle α_0 et de l'angle α, qu'on aurait mesuré si h était nul.

Fig. 3.



On retranchera donc de la différence des lectures faites sur l'échelle divisée $n - n'$, lors de la mesure de l'épaisseur cherchée, la différence $n_0 - n'_0$, faite lors de l'observation initiale du levier seul; on aura alors

$$\varepsilon = l \times \frac{(n - n') - (n_0 - n'_0)}{4D}.$$

Ce dispositif a sur le sphéromètre ordinaire l'avantage d'une simplicité telle, que chacun peut aisément le construire de ses mains. Cet avantage, déjà fort important, n'est pas le principal. Le levier à réflexion a surtout pour but de permettre les *mesures absolues,* c'est-à-dire rapportées à l'unité de longueur vraie. Or l'unité de longueur est donnée soit par une règle étalonnée, soit par une machine à diviser. Comme le pas de la vis d'une telle machine est rarement métrique, on parvient, à l'aide d'un microscope placé sur le chariot de la machine, à déterminer la valeur métrique du pas de la vis, à l'aide d'une règle auxiliaire : ces deux instruments, règle et machine, sont donc équivalents.

Mais un sphéromètre à vis est excessivement difficile à comparer avec une machine à diviser ou avec une règle ; en tout cas, les modes de comparaison usités jusqu'à ce jour sont très-indirects ; si bien qu'en général on se contente de l'affirmation du constructeur pour la valeur du pas de la vis du sphéromètre, ce qui conduit quelquefois à des erreurs de 1 pour 100 et au delà pour la valeur absolue des quantités qu'on mesure.

Le levier à réflexion n'est point sujet à ces causes d'erreur.

La longueur $2l$ des deux pointes se détermine avec une machine à diviser; à $\frac{1}{100}$ de millimètre près : si $2l = 100^{mm}$ environ, on a une précision relative de $\frac{1}{10000}$. Comme le pas de la vis a pu être comparé à une bonne règle, la mesure réduite de $2l$ est absolue.

Il ne reste plus qu'à tracer ou à mesurer avec la même machine les traits de l'échelle divisée qu'on emploiera et à vérifier, toujours avec la même machine à diviser, la règle avec laquelle on mesurera D, distance de l'échelle au plan de réflexion.

En général, il suffira de prendre D = 1 à 2 mètres; l'approximation de D sera d'au moins $\frac{1}{2}$ millimètre, c'est-à-dire $\frac{1}{2000}$ pour 1 mètre et $\frac{1}{4000}$ pour 2 mètres.

Quant à $n - n'$, comme on estime avec une bonne lunette $\frac{1}{10}$ de millimètre, il suffira de s'arranger de manière à avoir $n - n' > 100^{mm}$ pour avoir le millième comme erreur relative.

En résumé, il sera donc aisé d'obtenir une précision voisine du millième sur l'ensemble des opérations, ce qu'on est loin d'atteindre avec les sphéromètres.

Le levier à réflexion est surtout utile pour la mesure des courbures, et spécialement en Optique, dans le cas de la mesure des éléments géométriques des lentilles, objectifs, miroirs, etc.

Fig. 4.

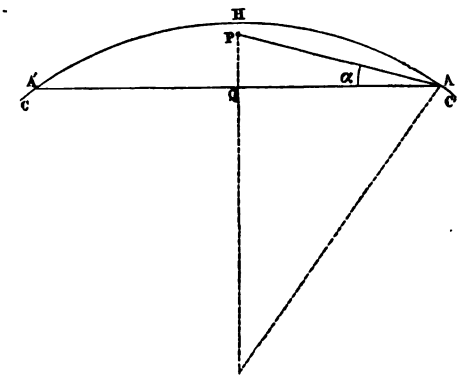
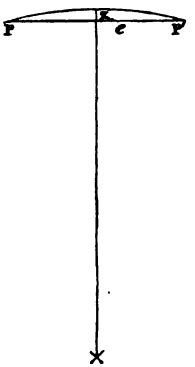


Fig. 5.



Prenons le cas le plus général d'une courbure sphérique à mesurer (*fig.* 4). Le mouvement de rotation du levier posé sur la surface à mesurer s'effectue autour de la ligne passant par les deux pointes. On détermine donc ainsi la flèche de l'arc compris entre les points touchés par les points A, A'.

Rigoureusement parlant, ce n'est pas cette flèche que l'on détermine, mais cette flèche diminuée de la flèche de l'arc transversal compris entre les deux pointes P, P'. Comme les pointes ne sont

écartées que de la quantité nécessaire à la stabilité du levier, la correction très-petite qu'elle nécessite (les flèches varient comme le carré des arcs) se fait à l'aide de la valeur approchée de la courbure.

Soit α l'angle PAA'; la flèche $f = \mathrm{PQ}$ définie par cet angle est donnée par la formule

$$f = l \sin \alpha.$$

Le rayon ρ du cercle passant par les trois points A, P, A' satisfait à la condition

$$l^2 = f \times 2\rho,$$

et le vrai rayon de courbure R passant par les points A, A', H à celle-ci :

$$\overline{\mathrm{AQ}}^2 = l^2 - f^2 = \mathrm{HQ} \times (2\mathrm{R} - \mathrm{HQ}),$$

formule dans laquelle on a $\mathrm{HQ} = f + z$, z étant la petite flèche produite par l'écartement $2e$ des pointes P, P'.

Donc on a aussi (*fig.* 5)

$$e^2 = z \times (2\mathrm{R} - z) = 2\mathrm{R}z \text{ approximativement.}$$

On peut, comme z est excessivement petit, se contenter de la valeur approchée ρ du rayon R,

$$\rho = \frac{l^2}{2f},$$

d'où

$$z = \frac{e^2}{2\mathrm{R}} = \frac{e^2}{2\rho} = \frac{e^2}{l^2} f.$$

Substituant dans $\overline{\mathrm{AQ}}^2$, il vient

$$l^2 - f^2 = (f + z)[2\mathrm{R} - (f + z)],$$

d'où

$$2\mathrm{R} = \frac{l^2 - f^2}{f\left(1 + \frac{e^2}{l^2}\right)} + f\left(1 + \frac{e^2}{l^2}\right).$$

Or on peut prendre aisément

$$\frac{e}{l} = 0{,}1, \quad \frac{e^2}{l^2} = 0{,}01 \quad \text{et} \quad \frac{e^4}{l^4} = 0{,}0001,$$

qu'on peut négliger; de plus $\frac{f}{l}$ est également très-petit : on peut donc négliger le produit $\frac{f^2 e^2}{l^4}$; développant en série le dénominateur, il vient, après avoir supprimé les termes négligeables,

$$2R = \frac{l^2}{f}\left(1 - \frac{e^2}{l^2}\right).$$

Substituant la valeur de f,

$$R = \frac{l^2\left(1 - \frac{e^2}{l^2}\right)}{l \sin \alpha}, \quad \text{ou approximativement} \quad \frac{l}{\alpha}\left(1 - \frac{e^2}{l^2}\right),$$

α étant toujours le quart de l'angle observé sur la surface courbe, diminué de l'angle observé sur un plan.

Si l'angle α était un peu notable, il vaudrait mieux le calculer, avec la Table de logarithmes, par la formule

$$2 \operatorname{tang} 2\alpha = \frac{n - n'}{D},$$

qu'on trouve aisément d'après la condition que l'échelle est normale au rayon visuel lorsque le levier est dans la position moyenne.

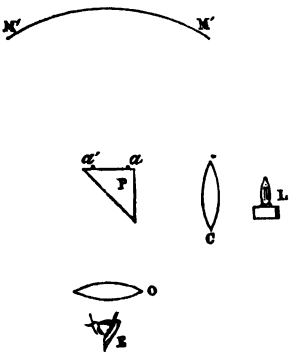
Pour s'habituer à l'usage du levier à réflexion, il est bon de l'employer à la mesure de la courbure d'un miroir concave, par exemple de la surface concave d'une lentille divergente. On a, en effet, une vérification très-délicate pour la mesure optique du rayon de courbure; on répète les observations jusqu'à ce qu'on obtienne la concordance des deux valeurs.

La détermination optique du rayon de courbure de la surface concave s'obtient aisément de la façon suivante : on dispose (*fig.* 6) un petit prisme hypoténuse P, de façon à renvoyer sur toute la surface du miroir MM′ la lumière d'une lampe monochromatique (alcool salé), rendue convergente sur la face *aa′* par une lentille C.

On colle avec un peu de cire un fil métallique d'environ $\frac{1}{8}$ de millimètre de diamètre sur la face *aa′* en *a*, de façon que ce fil, parallèle aux arêtes, dépasse de 4 à 5 millimètres la surface horizontale du prisme. Après quelques tâtonnements, on arrive aisément à recevoir l'image conjuguée de la face *a′* du prisme au-dessus

de ce prisme et dans le plan de cette face. On aperçoit alors l'image du fil a' qui se projette sur l'image éclairée de la face du prisme et aussi le prolongement du fil a qui se détache sur le même fond brillant.

Fig. 6.



Avec un oculaire (qui n'a pas besoin d'être achromatique) d'autant plus puissant que le miroir concave sera plus parfait, on pourra observer le fil et son image côte à côte et régler la distance au miroir, de telle façon qu'ils soient bien dans un même plan perpendiculaire à l'axe principal du miroir.

Il suffit alors de mesurer la distance du centre du miroir au plan commun des deux images pour avoir le rayon de courbure cherché.

Pour les commodités et la précision de l'expérience, le prisme P, la lentille C, la lampe L et l'oculaire O doivent être disposés sur un même support qui glissera dans une coulisse dirigée suivant l'axe du miroir [1].

---

[1] La mesure absolue du rayon de courbure est fondée sur l'observation initiale du levier posé sur un plan parfait : il faut donc être assuré que cette dernière surface remplit cette condition ou au moins connaître cette courbure. Pour effectuer cette vérification, la méthode optique suivante est très-délicate. On choisit pour plan une lame de glace polie et l'on observe par réflexion sur sa surface l'image d'un objet éloigné ou la fente d'un collimateur, à l'aide d'une bonne lunette. Si l'on n'est pas obligé de modifier le tirage de la lunette pour voir l'objet directement et par réflexion, et surtout si l'image de cet objet est également nette sous toutes les incidences, la surface est suffisamment plane. Si l'image perd sa netteté, il faut rejeter la lame ou chercher si, dans certains azimuts de réflexion, la netteté des lignes perpendiculaires au plan d'incidence ne se conserve pas. Il arrive presque toujours qu'un de ces azimuts donne une image

Le levier optique se prête à une foule d'autres applications ; l'une des plus utiles est la mesure de la flèche des flexions des corps élastiques.

Je suis parvenu avec ce dispositif à estimer de semblables mouvements d'une petitesse comparable aux longueurs d'onde de la lumière : il suffit de diminuer suffisamment la longueur du bras de levier et d'augmenter à la fois la puissance de la lunette et la distance de l'échelle divisée. Au point de vue de la délicatesse, comme de la précision, l'appareil ne laisse donc rien à désirer ; toutefois il ne faudrait pas se faire illusion sur les conditions géométriques de l'instrument et croire qu'on peut avoir à la fois l'extrême précision et l'extrême délicatesse : il y a là une question d'erreurs relatives facile à apprécier. En raccourcissant le levier, on perd en précision ce qu'on gagne en sensibilité.

SÉANCE DU 26 JUIN 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures précises.

Le procès-verbal de la séance précédente est lu et adopté.

MM. Salet, Redier, constructeurs, et Levy, chef d'institution, sont élus membres de la Société.

M. Marcel Deprez expose ses recherches sur l'emploi de l'étincelle d'induction et des électro-aimants dans les mesures chronographiques. Il résulte de ses recherches que les électro-aimants ont une supériorité incontestable au point de vue de la constance et de la régularité des signaux.

---

suffisante en modifiant le tirage ; on peut alors tirer parti de cette lame en calculant sa courbure suivant le plan de réflexion. En effet, d'après la théorie des caustiques, on sait que la distance focale des rayons parallèles, après réflexion sous une incidence i, est égale à $\delta = \frac{1}{2} R \cos i$, R étant le rayon de courbure de la surface dans le plan de réflexion ; on observe le *dépointement* ou variation de tirage de la lunette, on en conclut δ, d'où $R = \frac{2\delta}{\cos i}$. En augmentant l'angle d'incidence, on multiplie, pour ainsi dire, la courbure autant qu'on le veut par le facteur $\frac{1}{\cos i}$.

M. Deprez décrit divers dispositifs nouveaux, destinés à diminuer l'inertie des armatures; le point le plus saillant de ses recherches est la constatation précise de la constante du temps nécessaire à la désaimantation des électro-aimants. L'auteur fait ensuite fonctionner, sous les yeux de la Société, un appareil enregistreur qui réalise l'application des principes exposés plus haut.

La parole est ensuite donnée à M. Niaudet-Bréguet, qui décrit devant la société une horloge dont l'échappement est produit par un diapason faisant cent vibrations par seconde. La difficulté qu'il a fallu surmonter a été spécialement celle relative à la fixité absolue du diapason. La régularité de cette horloge est satisfaisante : elle réalise parfaitement le mouvement uniforme.

La séance est levée à 10 heures.

Recherches sur l'étincelle d'induction et les électro-aimants. Application aux chronographes électriques; par M. Marcel Deprez.

Ayant été chargé par l'Inspection générale de l'Artillerie de la marine d'étudier les moyens d'appliquer l'électricité à l'enregistrement des phases successives d'un phénomène très-rapide, tel que le trajet d'un projectile dans l'âme d'une bouche à feu, j'ai dû faire un examen comparatif des procédés existants. Ces procédés sont fondés sur trois propriétés différentes des courants électriques : l'aimantation du fer doux, les décompositions électrochimiques et la production d'étincelles au moyen de courants induits. Je vais passer rapidement en revue les avantages et les inconvénients respectifs de chacun de ces procédés, et terminer par l'exposé de mes recherches personnelles sur les enregistreurs électromagnétiques.

1° *Emploi des électro-aimants.* — Les premiers chronographes électriques (Wheatstone, Constantinoff, etc.) possédaient comme organe enregistreur un électro-aimant dont l'attraction, au moment de la fermeture du courant, mettait en mouvement un style appuyé contre un cylindre enduit de noir de fumée. Dans les chronoscopes Navez, Le Boulengé, etc., on n'emploie que la rupture du courant. Les inconvénients inhérents à l'usage des électro-aimants tels qu'on les a employés jusqu'à présent sont : le magnétisme ré-

manent, la lenteur de leur désaimantation et surtout de leur aimantation, et, par suite, le retard de leur indication, retard qui est variable avec l'intensité du courant; enfin la faible vitesse imprimée aux styles traceurs ne permet pas d'imprimer au cylindre sur lequel se fait l'enregistrement la vitesse considérable qui est exigée dans les expériences de balistique intérieure où l'on doit pouvoir mesurer avec certitude le $\frac{1}{100000}$ de seconde. Ce sont ces inconvénients qui ont fait abandonner les chronographes de Constantinoff, Martin de Brettes, Glasner et Regnault.

2° *Emploi des propriétés chimiques du courant.* — On sait que le passage du courant à travers un style de fer, appuyé contre une feuille de papier humide imbibée de cyanure de potassium, détermine à la surface du papier la production d'un trait bleu qui cesse dès que le courant est interrompu. En faisant varier la composition des substances dont le papier est imbibé, ainsi que la nature de l'électrode, on peut obtenir des traces de différentes couleurs. Cette propriété des courants a été employée dans plusieurs télégraphes, et en particulier dans les télégraphes autographiques; mais elle a l'inconvénient d'exiger un courant de grande tension et un papier dont le degré d'humidité soit toujours le même. En effet, quand il n'est pas assez humide, le courant est trop affaibli; quand, au contraire, il est trop humide, il se déchire, et en outre les traces deviennent étalées et diffuses. Enfin l'électrode servant de style conserve à sa surface, pendant le passage du courant, une couche de matière colorante qui continue à tacher le papier même quand le courant est rompu. Ces inconvénients, peu importants pour la télégraphie, deviennent très-graves dans un chronographe, où les traces doivent toujours être d'une grande netteté. Aussi l'emploi des propriétés chimiques du courant, qui avait paru d'abord résoudre la question (M. du Moncel a construit un chronographe de ce genre), a-t-il été abandonné, non-seulement dans les chronographes, mais aussi dans les télégraphes.

3° *Emploi de l'étincelle d'induction.* — L'étincelle d'induction jaillissant contre un cylindre argenté enduit de noir de fumée laisse à la surface une auréole au centre de laquelle se trouve un point brillant extrêmement petit et que l'on peut pointer avec une grande précision. J'ai essayé de mesurer le retard de l'étincelle par le procédé qui sera décrit dans le prochain paragraphe, et j'ai trouvé que

ce retard est inférieur à $\frac{1}{10000}$ de seconde. Quand la distance explosive est très-petite ($\frac{1}{4}$ de millimètre par exemple), ce retard devient tout à fait inappréciable, parce qu'il se confond avec les déviations de l'étincelle. En effet, cette dernière ne suit pas, pour aller frapper le cylindre, le chemin qui est géométriquement le plus court, mais bien celui qui est *électriquement* le plus court, c'est-à-dire le chemin de moindre résistance. De là des déviations qui ne sont pas négligeables, et dont le sens et la grandeur ne sauraient être prévus.

Un autre inconvénient de l'étincelle est d'être souvent suivie d'une foule de petites étincelles parasites formant comme une queue; ces étincelles prouvent que la décharge du fil induit n'est pas instantanée. Il résulte de là que, si l'on voulait mesurer la durée d'un phénomène très-court dont l'origine et la fin devraient être indiquées par deux étincelles distinctes jaillissant du même fil, la deuxième étincelle pourrait être confondue avec les étincelles parasites accompagnant la première. Il arrive même souvent que le trait de feu produisant l'étincelle principale se divise en deux ou trois autres traits produisant chacun une trace sur le cylindre, de sorte qu'on ne sait absolument lequel choisir. Ces inconvénients, déjà observés depuis longtemps, sont bien plus graves encore lorsque le cylindre est recouvert d'une feuille de papier enfumé destinée à conserver la trace des expériences. J'ai constaté, en effet, que, même lorsqu'on amène le fil d'où jaillit l'étincelle *au contact* du papier, de façon à en faire un véritable style frottant, l'étincelle n'éclate pas au point de contact, mais bien à une distance de ce point qui varie capricieusement d'un moment à l'autre et qui peut atteindre $\frac{1}{2}$ millimètre.

Comme je l'ai déjà dit, le retard de l'étincelle, c'est-à-dire l'intervalle de temps qui s'écoule entre le moment où le courant inducteur est rompu et le moment où l'étincelle éclate, est généralement inférieur à $\frac{1}{10000}$ de seconde. Il ne faudrait pas conclure de là que l'on puisse produire 10000 étincelles par seconde, car le temps pendant lequel le courant inducteur doit être fermé pour que la rupture produise un courant induit de tension suffisante est très-supérieur à $\frac{1}{10000}$ de seconde. Toutes les personnes qui se sont servies de la bobine de Ruhmkorff savent que, lorsque les interruptions du courant deviennent très-rapides, les étincelles deviennent de plus en

plus petites et finissent par ne plus éclater. En faisant passer le courant inducteur produit par trois éléments Bunsen dans un diapason de 250 périodes par seconde, j'ai pu obtenir également 250 étincelles; mais elles étaient fort petites, et il n'est pas probable que ce nombre puisse être dépassé de beaucoup, à moins d'augmenter considérablement la force de la pile. On peut faire, d'ailleurs, une expérience frappante qui montre nettement que la production de l'étincelle exige un courant inducteur d'une durée appréciable. En effet, si l'on attache aux masses métalliques de deux marteaux d'acier les extrémités du fil inducteur, coupé pour cela en un point quelconque de sa longueur, et si l'on vient à les frapper l'un contre l'autre, le courant sera fermé par suite du choc; mais, quelque violent que soit ce dernier, aucune étincelle ne jaillira. Cette expérience prouve que la durée du choc est inférieure au temps pendant lequel le courant inducteur doit passer pour que sa rupture produise une étincelle. Il est bien évident, d'ailleurs, que ce temps est d'autant plus petit que la pile est plus forte; mais on serait conduit, pour obtenir des étincelles se succédant à $\frac{1}{10000}$ de seconde d'intervalle, à employer une pile extrêmement puissante. Aussi tous les expérimentateurs qui ont voulu appliquer la bobine d'induction à l'enregistrement de phénomènes extrêmement rapides ont-ils employé un nombre de bobines égal au nombre de signaux qu'ils voulaient obtenir. Dans le chronographe construit sur les plans du capitaine Noble pour des recherches de balistique intérieure, le nombre des bobines est de huit, chacune d'elles donnant un signal indépendant quand le projectile passe devant un point de l'âme déterminé. Cela entraîne nécessairement l'usage de huit piles indépendantes. J'ajouterai que la production de l'étincelle est un phénomène capricieux qui dépend beaucoup de la manière dont la rupture est faite.

SÉANCE DU 10 JUILLET 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures.

M. Cazin expose ses recherches sur la période variable des courants voltaïques.

M. Bichat montre comment on peut, au moyen de la bobine de Ruhmkorff, transformer l'électricité statique en électricité dynamique.

M. Mercadier fait une communication sur la chronographie électrique.

Sur la transformation de l'électricité statique en électricité dynamique; par M. Bichat.

On sait que, si, dans le gros fil de la bobine de Ruhmkorff, on fait passer le courant d'une pile successivement interrompu et rétabli, on recueille dans le fil fin deux courants induits de sens contraires. Pour une certaine distance explosible, il *semble* qu'il n'y ait qu'un seul courant produit. Ce courant est *direct*, c'est-à-dire de même sens que le courant inducteur, et les étincelles produites par le passage de ce courant à travers l'air ont tout à fait l'apparence d'étincelles d'électricité statique. Par l'intermédiaire de la bobine, on a effectué une véritable transformation d'électricité dynamique en électricité statique.

Réciproquement, cette même bobine peut servir à la transformation de l'électricité statique en électricité dynamique. C'est ce que l'on peut constater expérimentalement de la façon suivante.

On met en communication les extrémités du fil fin d'une bobine de Ruhmkorff avec les pôles d'une machine de Holtz. Sur le trajet on place un excitateur muni de deux boules, dont la distance, toujours très-faible d'ailleurs, peut être augmentée ou diminuée à volonté. De cette façon, on fait passer, dans un sens déterminé, une série d'étincelles d'électricité statique dans le fil fin de la bobine. On recueille alors dans le gros fil des courants tout à fait analogues à ceux fournis par la pile. Si l'on fait arriver ces courants à un petit voltamètre contenant de l'eau acidulée, on obtient d'un côté de l'oxygène et de l'autre de l'hydrogène presque purs. Si, à la place de l'eau acidulée, on met du sulfate de cuivre, on

reconnaît que, à l'une des électrodes seulement, il se dépose du cuivre métallique.

En étudiant ainsi le sens du courant au moyen d'un voltamètre, on constate qu'il n'y a qu'un seul courant mis en évidence, et que ce courant est inverse, c'est-à-dire de même sens que celui de la machine de Holtz. On peut aussi, pour se rendre compte du sens du courant, utiliser le phénomène de la polarisation des électrodes, phénomène qui fut d'un si grand secours à Verdet dans ses recherches sur l'induction produite par l'électricité statique; seulement, dans le cas qui nous occupe, il est bon de remplacer la dissolution d'iodure de potassium, dont se servait Verdet, par de l'eau simplement acidulée.

En résumé, la méthode que nous venons d'indiquer permet de transformer l'étincelle produite par la machine de Holtz en un courant tout à fait identique, au point de vue de ses effets, avec celui de la pile.

En partant des lois connues de l'induction, il est facile d'expliquer ce qui se passe dans l'expérience précédente.

Théoriquement, on devait s'attendre à trouver dans le gros fil deux courants induits, l'un direct, l'autre inverse, égaux en quantité et inégaux en tension. Bien que l'un d'eux seulement soit mis en évidence dans l'expérience que nous avons rapportée, il est possible de constater l'existence du second en employant une méthode analogue à celle qui a été utilisée par Verdet dans ses recherches sur l'induction statique. Si le courant inverse paraît seul se produire, cela tient encore, comme dans le cas où la bobine fonctionne à la façon ordinaire, à la différence de tension des deux courants. Comme dans ce cas encore, les effets sont considérablement augmentés si l'on introduit un barreau de fer doux dans l'intérieur de la bobine, et mieux encore si l'on remplace le barreau de fer doux par un faisceau de fil de fer doux.

Si, dans l'expérience qui nous occupe, la production apparente d'un courant induit inverse unique tient réellement, comme nous venons de le dire, à la différence de tension des deux courants, on devra voir les effets produits diminuer d'intensité si, par un moyen quelconque, on parvient à diminuer la tension du courant direct. C'est ce que l'on peut faire au moyen de diaphragmes. Si l'on entoure en effet le faisceau de fils de fer doux de la bobine d'un

tube de cuivre continu, le courant produit, étudié, par exemple, au moyen de la polarisation des électrodes du voltamètre, donne une déviation galvanométrique presque nulle. Cette déviation devient au contraire extrêmement considérable, si l'on remplace le tube de cuivre continu par un autre tube de cuivre fendu suivant l'une de ses arêtes, c'est-à-dire si on laisse subsister la différence de tension qui existe naturellement entre les deux courants induits direct et inverse.

Au lieu de produire les étincelles d'électricité statique au moyen d'une machine de Holtz, on peut les produire au moyen d'une seconde bobine de Ruhmkorff. Le gros fil de cette seconde bobine est mis en communication avec les extrémités du fil fin de la première. Sur le trajet se trouve un excitateur. Au moyen de cet excitateur, on peut facilement éliminer le courant inverse, et l'on est alors tout à fait dans les mêmes conditions que lorsque l'on se sert de la machine de Holtz. On peut aussi fermer complétement l'excitateur et lancer ainsi dans le fil fin de la bobine en expérience les deux courants induits direct et inverse. Dans ce dernier cas, la décomposition de l'eau dans le voltamètre est aussi énergique, et elle est toujours polaire, ce qui devait arriver si l'explication donnée du phénomène est exacte. On a, en effet, dans cette expérience les courants induits développés par les fils seuls, plus ceux qui résultent de l'aimantation du fer. Les premiers sont à peu près incapables de décomposer l'eau d'une façon apparente. Les seconds seuls produisent le dégagement d'hydrogène et d'oxygène que l'on observe. Or ces courants induits produits par une *aimantation directe qui augmente* sont toujours inverses : ce sont les seuls mis en évidence. Il est donc tout naturel que l'on trouve encore les gaz constituant l'eau bien nettement séparés. L'expérience faite sous cette seconde forme est peut-être plus intéressante. Elle nous montre, en effet, le courant d'une pile transformé en étincelles d'électricité statique, et, plus loin, ces mêmes étincelles d'électricité statique transformées en un courant produisant des effets tout à fait analogues à ceux qui eussent été produits directement par la pile servant à exciter la première bobine.

SÉANCE DU 4 DÉCEMBRE 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures précises.

On procède au tirage au sort des membres sortant du Conseil. Parmi les membres résidants le sort désigne :

MM. Edm. Becquerel,
Cazin,
Fernet.

Parmi les membres non résidants :

MM. Gripon,
Duclaux,
Lallemand,
Terquem.

M. Boudréaux expose ensuite une méthode expérimentale pour obtenir le renversement des raies des spectres métalliques : elle consiste dans l'emploi de divers chlorates alcalins, alcalino-terreux ou métalliques servant à activer la combustion d'une matière résineuse ; le mélange donne naissance à une fumée très-chargée de vapeur métallique à travers laquelle on fait passer une lumière vive venant du Soleil ou d'une lampe électrique. Les raies brillantes de la vapeur métallique donnent alors naissance par contraste à des raies sombres.

M. Mascart exécute ensuite devant la Société diverses expériences sur la composition des couleurs spectrales et sur l'interférence produite par deux spaths épais.

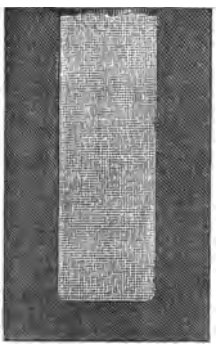
La séance est levée à 9 heures et demie.

Procédé pour obtenir en projection les raies des métaux et leur renversement; par M. Boudréaux.

I. *Projection des raies des métaux.* — Les méthodes qui ont été proposées pour projeter les raies des métaux exigent l'emploi du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène ou la lumière électrique. Je crois avoir simplifié l'expérimentation en prenant comme sources de lumière des feux analogues à ceux des artificiers et formés par la combustion d'un mélange intime et récemment préparé de 6 grammes de chlorate avec 1 gramme environ de gomme laque en poudre.

Veut-on projeter les raies du strontium, par exemple, on introduit et l'on tasse dans des creusets de charbon, dont la *fig.* 1 re-

Fig. 1.

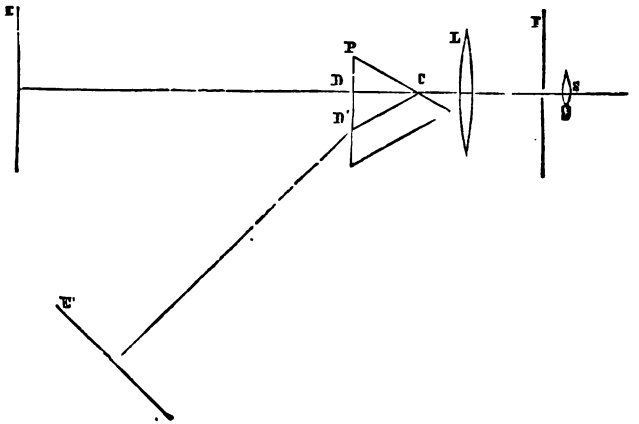


présente un modèle en grandeur naturelle, le mélange de chlorate de strontium et de gomme laque, mélange qu'on peut enflammer avec une allumette présentant un point en ignition. Une combustion très-vive en résulte, accompagnée d'une lumière très-riche en vapeurs métalliques incandescentes qu'on dirige sur une fente étroite, qu'elle traverse pour tomber d'abord sur une lentille, puis sur un prisme, et enfin sur un écran où se peint un spectre présentant les raies particulières au strontium, c'est-à-dire cinq belles raies rouges et une raie verte. Le baryum donne de la même manière trois raies vertes, le calcium deux raies rouge et une verte, le sodium une raie jaune.

Quant au spectre en question, on l'obtient par un procédé que

je vais rappeler et qui est bien connu dans les cabinets de Physique. On place la fente étroite et verticale F (*fig.* 2) à 15 centi-

Fig. 2.



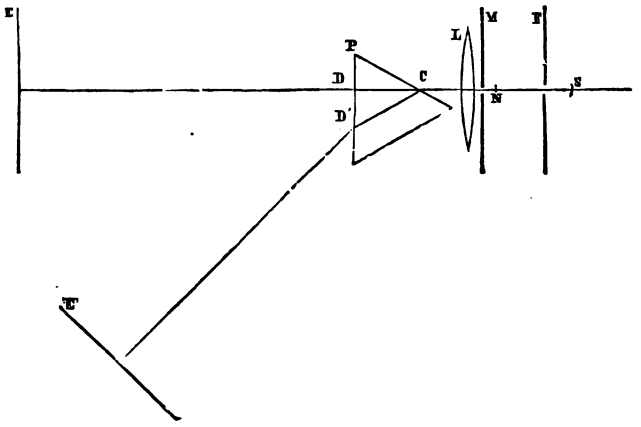
mètres environ de la source S ; puis, un écran étant placé en E à quelques mètres de F, on place la lentille de projection L entre F et E, de manière à produire en E une image très-nette de F. Il ne reste plus qu'à placer près de la lentille le prisme P dans la position du minimum de déviation, de sorte que ses arêtes soient verticales, et à déplacer l'écran E en E′ dans la nouvelle direction des rayons lumineux déviés, tout en le maintenant à peu près à la même distance de L. En E′ on voit alors un spectre très-pur, continu ou discontinu, selon la nature de la source S. Il est clair d'ailleurs que la direction de la flamme qui éclaire la fente verticale doit être elle-même verticale ; dans la figure théorique ci-jointe, elle est figurée horizontale : il n'a pas été possible de la figurer autrement. La même observation, qui s'applique aussi, pour la flamme et pour l'écran K qui la couvre, à la *fig.* 4, devra être prise en considération lorsqu'on voudra répéter l'expérience.

Il est avantageux, dans ces sortes d'expériences, de placer la source lumineuse dans la lanterne de M. Duboscq et d'en augmenter l'intensité par l'emploi simultané de deux ou trois de nos creusets, et j'ai trouvé très-commode l'emploi du prisme à grande dispersion du spectroscope à vision directe, prisme que, dans les expériences précédentes, on place de préférence au foyer des rayons parallèles pour

éviter les pertes de lumière, car ces prismes, ordinairement, n'ont pas une section bien considérable.

II. *Comment on obtient en projection le renversement de la raie du sodium.* — Un spectre pur ayant été produit par le procédé indiqué au numéro précédent, en prenant comme source S (*fig.* 3) la

Fig. 3.



lumière de Drummond, on place entre L et F et près de L un morceau de sodium N, qu'on enflamme avec la précaution que la lumière incidente traverse les vapeurs absorbantes du sodium; on trouve sur l'écran E' et dans le jaune une ligne noire de renversement occupant exactement la place de la raie brillante jaune, particulière au sodium. C'est ainsi qu'actuellement l'expérience est faite dans les cours.

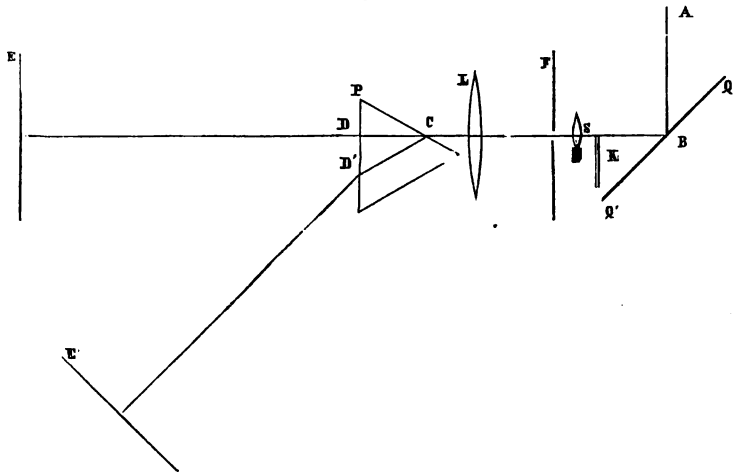
Une fente M, large de 2 centimètres et appliquée contre la lentille, donne plus de netteté au phénomène.

III. *Renversement des raies de divers métaux.* — On doit évidemment, par un procédé analogue, pouvoir renverser les raies des métaux autres que le sodium, et j'y suis arrivé en prenant comme vapeurs absorbantes celles fournies par les mélanges déjà employés précédemment pour la production des raies brillantes des métaux.

Ainsi le strontium donne cinq raies noires de renversement, le calcium trois, le baryum trois, le sodium une seule. J'ai opéré en

prenant comme source de lumière les rayons parallèles du Soleil ; la masse de vapeurs métalliques absorbantes était placée près de F (*fig.* 4) entre L et F, et mieux en S entre F et le miroir du porte-lumière.

Fig. 4.



Dans l'appareil que j'ai employé, les vapeurs absorbantes étaient fournies par deux ou trois petits creusets placés en S à l'intérieur d'une lanterne portant la fente F et munie d'une cheminée ayant un bon tirage.

IV. *Concordance des raies brillantes et des raies de renversement d'un même métal.* — Pour bien montrer que les raies de renversement d'un métal occupent exactement la place de ses raies brillantes, on emploie la disposition suivante : on fait en sorte que les rayons solaires incidents n'éclairent que la moitié supérieure, par exemple, de la longueur de la fente F, supposée verticale, ce qu'on obtiendra facilement par l'interposition d'un petit écran K (*fig.* 4) entre les creusets et le miroir du porte-lumière ; par ce moyen, on aura sur l'écran E′ un nouveau spectre solaire moitié moins large que le premier. Si maintenant, les rayons solaires étant supprimés, on vient à enflammer le mélange des creusets, on aura en E′ un spectre discontinu, ayant même largeur que le premier, et dont une partie recouvre exactement la portion de l'écran occupée tout à l'heure par le second spectre solaire. Par

suite, si l'on fait agir à la fois les rayons solaires et les feux absorbants, on verra en E′ un spectre à raies brillantes, provenant précisément de la partie inférieure de la fente, éclairée seulement par la lumière métallique, et au-dessous le spectre solaire sillonné de raies noires, exactement dans le prolongement des raies brillantes.

Pour répéter l'expérience, on doit se rappeler que la flamme S est, ainsi que nous l'avons dit plus haut (I), figurée à angle droit de sa position réelle.

SÉANCE DU 18 DÉCEMBRE 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures.

MM. Mouton, préparateur de Physique à l'École Normale, Bichat, professeur au Lycée de Versailles, et le Docteur Alban Fournier sont nommés membres de la Société.

La parole est ensuite donnée à M. Cornu qui expose devant la Société les modèles des appareils qu'il a employés dans ses expériences sur la vitesse de la lumière entre l'Observatoire et Montlhéry.

Il décrit spécialement l'enregistreur et le chronographe qui permet de subdiviser la seconde d'une pendule astronomique en dix parties égales, en empruntant à l'horloge, par une transmission électrique, la force nécessaire pour entretenir le mouvement et assurer indéfiniment l'isochronisme, le synchronisme du subdiviseur.

M. Cornu décrit ensuite sommairement la méthode d'observation et de calcul ainsi que les principales difficultés qu'il a fallu lever pour installer et faire fonctionner les appareils. Le résultat de ces expériences donne pour la vitesse de la lumière un nombre $V = 300\,400$ kilomètres à la seconde de temps moyen : l'erreur probable ne dépasse pas un millième en valeur relative.

La séance est levée à 9 heures et demie.

Détermination de la vitesse de la lumière et de la parallaxe du Soleil ; par M. A. Cornu.

J'ai déjà exposé divers perfectionnements relatifs à la méthode imaginée en 1849, par M. Fizeau, pour la détermination de la vitesse de la lumière. Ces perfectionnements sont tous de deux sortes : l'un a trait à la méthode d'observation qui consiste à observer, non pas l'annulation complète de l'intensité de la lumière de retour, mais deux couples d'intensités égales de part et d'autre de l'extinction ; l'autre est l'enregistrement électrique de la loi du mouvement de la roue dentée. Ces perfectionnements, expérimentés sur une distance modérée (10310 mètres entre l'École Polytechnique et le Mont-Valérien, $V = 298500^{km}$, erreur probable inférieure à un centième en valeur relative), ont entièrement réussi et ont permi d'affirmer que la méthode perfectionnée était capable de donner des résultats d'une grande précision, à la condition d'opérer sur une distance plus considérable et mieux déterminée, et d'employer des appareils plus puissants.

Les préparatifs de l'expédition pour l'observation du passage de Vénus ont ramené l'attention des astronomes sur l'utilité d'une détermination précise de la vitesse de la lumière ; car cette vitesse, combinée avec certaines constantes astronomiques, permet de calculer la parallaxe du Soleil dont l'observation directe exige de si pénibles voyages et le dévouement de tant d'astronomes.

Aussi, sur la proposition de M. Le Verrier, directeur de l'Observatoire de Paris, et de M. Fizeau, membre du Conseil, le Conseil de l'Observatoire décidait-il, au commencement de 1874, qu'une détermination de la vitesse de la lumière serait entreprise sans rien négliger de ce qui pourrait donner à l'opération toute la précision désirable. Le Conseil me fit l'honneur de me confier cette opération importante. Très-honoré et très-heureux de cette décision, j'aurais toutefois hésité à accepter une si grave responsabilité si je n'avais été vivement encouragé par M. Fizeau, qui n'a cessé, pendant toute la durée de ce travail, de me prodiguer les conseils les plus bienveillants et les plus précieux.

Les recherches préliminaires furent assez longues : la première question à résoudre fut le choix des stations; M. d'Abbadie, dans sa belle propriété des Pyrénées, M. Stéphan, à l'Observatoire de Marseille, et M. Alluard, à l'Observatoire du Puy-de-Dôme, m'avaient gracieusement offert l'hospitalité pour installer mes appareils; j'ai été très-reconnaissant de ces offres obligeantes, mais la raison qui m'empêcha de les accepter fut la connaissance imparfaite de la distance des stations qu'on pouvait adopter. Cela m'eût entraîné à des opérations géodésiques très-délicates, très-pénibles, et dont les résultats n'auraient pas été acceptés sans réserve par les physiciens.

Je résolus donc de chercher aux environs de Paris, parmi les sommets des triangles des grandes opérations géodésiques exécutées au siècle dernier, deux points se prêtant à l'installation des appareils. Après avoir hésité longtemps entre diverses stations, je me décidai à adopter l'Observatoire et la tour de Montlhéry. En effet, la valeur de la distance de ces deux points est à l'abri de toute discussion; leur position a été déterminée ou vérifiée par les observateurs les plus éminents : spécialement à l'occasion de grands travaux géodésiques et de la mesure de la vitesse du son entreprise au siècle dernier par l'Académie, lors des opérations de la méridienne, de la détermination du mètre, de la carte de France et de la nouvelle mesure de la vitesse du son exécutée par le Bureau des Longitudes. Ces deux stations sont donc en quelque sorte classiques et sont liées aux plus glorieux souvenirs de l'histoire de la science française.

D'après les indications trouvées dans la *Méridienne vérifiée* sur la situation des signaux géodésiques employés en 1740, par Cassini et la Caille, j'ai pu calculer la distance des points où sont installés mes appareils : elle est égale à 23910 mètres. J'ai contrôlé ce résultat en partant du nombre donné par Delambre (*Base du Système Métrique*), pour la distance du Panthéon à un signal dont j'ai reconnu la position près de la tour de Montlhéry. A l'aide d'une petite triangulation, j'ai rattaché mes deux stations à cette base, et j'ai retrouvé le même nombre 23910 mètres pour leur distance.

L'expérience a été installée dans des conditions dignes de l'importance du problème à résoudre. La lunette d'émission n'a pas moins de $8^m,85$ de distance focale et $0^m,37$ d'ouverture. Le méca-

nisme de la roue dentée permet d'imprimer à celle-ci des vitesses dépassant 1600 tours par seconde; le chronographe et l'enregistreur électriques assurent la mesure du temps au millième de seconde. M. Bréguet, à qui la construction de ces mécanismes avait été confiée, a apporté à leur exécution le concours dévoué qu'il a toujours prêté à toutes les opérations auxquelles son nom est associé.

Tous ces appareils sont solidement établis sur la terrasse supérieure de l'Observatoire : une communication électrique, établissant la correspondance du chronographe avec les battements de la pendule de la salle méridienne, fixe l'unité de temps avec la plus grande précision. A la station opposée, sur le sommet de la tour de Montlhéry, il n'y a qu'un collimateur à réflexion dont l'objectif a $0^m,15$ d'ouverture et 2 mètres de distance focale; il est enveloppé par un gros tuyau de fonte, scellé à la muraille, pour le soustraire à la curiosité des visiteurs.

La description des appareils et de la méthode d'observation sera l'objet d'un Mémoire détaillé. Je rappellerai seulement le principe de la méthode optique : on envoie à travers la denture de la roue en mouvement un faisceau de lumière qui va se réfléchir à la station opposée. Le point lumineux qui en résulte au retour des rayons paraît fixe, malgré les interruptions du faisceau, grâce à la persistance des impressions de la rétine. L'expérience consiste à chercher la vitesse de la roue dentée qui éteint cette espèce d'*écho lumineux*, ou plutôt deux couples de vitesses qui sont à égale distance de celle qu'on vient de définir. L'extinction complète a lieu lorsque, dans le temps nécessaire à la lumière pour parcourir le double de la distance des stations, la roue a substitué le *plein* d'une dent à l'*intervalle* de deux dents qui livrait au départ le passage à la lumière ; de sorte que l'extinction d'ordre n correspond au passage de $2n - 1$ demi-dents durant ce court espace de temps. La loi du mouvement du mécanisme qui entraîne la roue dentée s'inscrit sur un cylindre enfumé, et l'observateur, par un signal électrique, enregistre le moment précis où la vitesse convenable est atteinte.

Les observations sont ainsi conservées sous forme de tracés que l'on peut ensuite déchiffrer à loisir.

Voici en quelques mots le mode d'enregistrement de ces signaux

et leur signification. L'enregistreur est formé par un cylindre couvert de papier enfumé, qui tourne d'un mouvement sensiblement uniforme, grâce à un régulateur à ailettes, imaginé par M. Yvon Villarceau : il a un mètre de circonférence et fait un tour en cinquante secondes, de sorte que l'intervalle d'une seconde correspond à une longueur de 20 millimètres.

Les lignes de signaux qui se dessinent sur la surface sont au nombre de quatre, formant quatre hélices parallèles : ces signaux sont tracés par quatre électro-aimants groupés sur un chariot mobile entraîné par une vis. La première hélice comprend les signaux marquant les secondes ; la deuxième, ceux qui marquent les dixièmes de seconde ; la troisième, les signaux qui se forment tous les 40 ou tous les 400 tours de la roue dentée, et la quatrième les signaux de l'observateur correspondant à l'extinction ou à la réapparition de la lumière de retour. On a donc tous les éléments qui définissent la loi de la vitesse de la roue dentée : par un calcul d'interpolation on calcule aisément la vitesse du mécanisme au moment des signaux de l'observateur.

Le chronographe au dixième de seconde est d'une construction toute nouvelle : je le nomme *subdiviseur de la seconde*. Il est composé d'une lame vibrante, réglée à l'aide d'une masse mobile, de manière à faire ses oscillations en un dixième de seconde aussi exactement que possible. Son mouvement est alors rigoureusement réglé en même temps qu'entretenu par l'émission du courant électrique qui amène la seconde.

Les tracés graphiques sont relevés avec un microscope d'une construction également nouvelle, qui permet, à l'aide d'un grossissement variable et d'une échelle divisée, de subdiviser en cent parties l'intervalle du dixième de seconde sans fatigue pour l'observateur : on a donc ainsi la loi du mouvement de la roue dentée, mesurée au millième de seconde ; comme le temps nécessaire à fixer les éléments de ce mouvement est de trois ou quatre secondes, l'erreur relative sur la vitesse calculée est excessivement petite.

Voici le résumé des résultats déduits de 504 expériences que j'ai cherché à varier par la diversité des roues, le nombre et la forme des dents, ainsi que par la grandeur et le sens de la rotation. Ces résultats représentent la vitesse de la lumière dans l'air, exprimée en kilomètres par seconde de temps moyen : ils sont rangés suivant

l'ordre n de l'extinction qui les a déterminés; le nombre qui les accompagne représente leur *poids relatif*, à savoir : le produit du nombre d'observations par le facteur $2n - 1$.

	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$	$n = 9$	$n = 10$	$n = 11$	$n = 12$
V.....	300130	300530	300750	300820	299940	300550	300640	300350	300500
$k \times (2n-1)$..	15×7	33×9	20×11	10×13	7×15	94×17	69×19	72×21	3×23
	$n = 13$	$n = 14$	$n = 15$	$n = 16$	$n = 17$	$n = 18$	$n = 19$	$n = 20$	$n = 21$
V....	300340	300350	300290	300620	300000	300150	299550	»	300060
$k \times (2n-1)$..	4×25	9×27	65×29	4×31	22×33	35×35	6×37	»	36×41

La concordance de ces nombres est aussi grande qu'on peut le désirer dans des expériences aussi difficiles et que les moindres ondulations des couches atmosphériques peuvent empêcher; il est vrai que j'ai toujours attendu, ce qui a beaucoup exercé ma patience, une pureté et un calme exceptionnels dans l'atmosphère pour faire ces mesures; mais, grâce à cette précaution, les séries ont toujours été très-régulières. Il est nécessaire d'ajouter que, dans aucun cas, les troubles atmosphériques ne peuvent être la cause d'erreurs systématiques, car leur arrivée est entièrement fortuite, et sur la moyenne d'un grand nombre d'observations leur influence est nulle.

Ces expériences ont été faites de nuit à l'aide de la lumière Drummond, à l'exception de la série du quinzième ordre qui, par une circonstance météorologique exceptionnellement favorable, a pu être exécutée de jour avec la lumière du Soleil. Malgré la différence de nature dans la source lumineuse, le résultat ne diffère pas du résultat moyen.

La moyenne de toutes ces valeurs, en ayant égard au *poids* de chaque groupe, est égale à 300330, qui, multipliée par l'indice de réfraction moyen de l'air 1,0003, donne comme résultat définitif la vitesse de la lumière dans le vide, $V = 300400^{km}$ par seconde de temps moyen, avec une erreur probable inférieure à 1 millième en valeur relative.

Ce résultat conduit à des conséquences importantes pour l'astronome.

La parallaxe solaire s'en déduit de deux manières différentes :

1° *D'après l'équation de la lumière.* — C'est ainsi qu'on désignait au siècle dernier le temps θ que met la lumière du Soleil à

parcourir le rayon moyen R de l'orbite terrestre. La discussion de plus de mille éclipses des satellites de Jupiter a donné à Delambre $\theta = 473^s,2$ secondes moyennes. En appelant ε la parallaxe du Soleil et ρ le rayon équatorial de la Terre ($\rho = 6378^{km},233$), on a évidemment $R = V\theta$, $\rho = R \operatorname{tang} r$, d'où $\operatorname{tang} \varepsilon = \frac{\rho}{V\theta}$ et $\varepsilon = 8'',878$.

2° *D'après l'aberration de la lumière.*— Bradley, qui a découvert ce phénomène, a trouvé pour la demi-élongation annuelle α d'une étoile idéale située au pôle de l'écliptique (élongation due à la composition de la vitesse moyenne u de la Terre dans son orbite avec la vitesse V de la lumière) la valeur $\alpha = 20'',25$. D'après W. Struve, ce nombre devrait être porté à $20'',445$. L'équation de condition s'écrit, en désignant par T la durée en secondes moyennes de l'année sidérale ($T = 365,26 \times 86400$),

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{u}{V} = \frac{2\pi R}{VT} = \frac{2\pi\rho}{VT \operatorname{tang} \varepsilon}, \quad \text{d'où} \quad \operatorname{tang} \varepsilon = \frac{2\pi\rho}{VT \operatorname{tang} \alpha}.$$

Par substitution de $\alpha = 20'',25$, on déduit $\varepsilon = 8'',881$ avec $20'',445$; on trouve $8'',797$. La concordance des deux méthodes est complète si l'on adopte le nombre de Bradley.

Je rappellerai que Foucault avait, par la méthode du miroir tournant, trouvé pour la vitesse de la lumière le nombre 298000 kilomètres, mais avec une approximation indéterminée, et qu'en combinant ce nombre avec la constante de Struve il concluait $8'',86$ pour la parallaxe solaire.

L'étude des perturbations planétaires conduit à une valeur de la parallaxe qui accroît encore l'intérêt de cette concordance. Je citerai spécialement l'étude approfondie des perturbations du mouvement de Vénus et de Mars, faite par M. Le Verrier, et qui l'a conduit aux nombres suivants : $\varepsilon = 8'',853$ par la considération des latitudes de Vénus aux instants des passages de 1761 et 1769; $\varepsilon = 8'',859$ par la discussion des observations méridiennes de Vénus, dans un intervalle de 106 ans; enfin $\varepsilon = 8'',866$, déduite de l'occultation de ψ du Verseau observée par Richer, Picard et Rœmer, le 1er octobre 1672; la moyenne de ces valeurs donne $8'',86$.

En résumé, on peut classer les méthodes qui servent en Astronomie à déterminer la parallaxe du Soleil en trois groupes :

1° Les *méthodes physiques* fondées sur l'observation d'un phé-

nomène optique; elles comprennent l'observation des éclipses des satellites de Jupiter ou l'aberration des fixes combinées avec la valeur de la vitesse de la lumière, déduite sans l'intervention d'autres phénomènes astronomiques; le présent travail permet de mettre à profit les observations qui sont la base de la méthode : les résultats sont $\varepsilon = 8'',88$, $8'',88$, $8'',80$. Moyenne $8'',85$;

2° Les *méthodes analytiques* qui s'appuient sur la comparaison des observations astronomiques avec les lois théoriques fondées sur le principe de la gravitation universelle : elles donnent, comme on vient de le voir, des valeurs voisines de $8'',66$;

3° Les *méthodes purement géométriques* sur les déplacements parallactiques des planètes voisines de la Terre : les oppositions de Mars ont fourni en 1862 $\varepsilon = 8'',84$. Mais le passage de Vénus sur le Soleil est le phénomène où la méthode géométrique peut atteindre la plus grande précision.

On voit donc quel intérêt il y a pour l'Astronomie à déterminer la parallaxe du Soleil par trois méthodes indépendantes; j'espère que les expériences que je viens de décrire successivement justifient par leur précision l'importance théorique de la méthode physique.

ALLOCUTION DE M. BERTIN.

SÉANCE DU 15 JANVIER 1875.)

Il y a un an, M. Fizeau, notre premier président, se félicitait des heureux débuts de notre Société et nous engageait à marcher avec confiance vers l'avenir assuré que ces débuts nous promettaient. Je suis heureux de constater avec vous que cet espoir n'a pas été trompé et que la prospérité de la Société de Physique est allée toujours en augmentant.

Le nombre de nos adhérents, qui avait triplé dans la première année, s'est encore accru d'une manière considérable, et vous voyez qu'il s'accroît tous les jours. L'époque n'est pas éloignée où non-seulement tous les professeurs de Physique, mais encore tous les amis de cette belle science se feront un devoir de se réunir à nous. Ce devoir ne sera-t-il pas pour eux un plaisir lorsqu'ils assisteront aux expériences qui remplissent toutes nos séances, ou lorsqu'ils exposeront les recherches les plus ardues devant l'auditoire le mieux préparé pour les comprendre et les apprécier?

Il suffit de jeter les yeux sur notre Bulletin pour se convaincre de l'intérêt soutenu qu'ont offert toutes nos réunions, tant au point de vue de l'enseignement qu'au point de vue de la science pure et de la science appliquée. Cet intérêt, j'en ai le ferme espoir, se soutiendra toujours, parce que le zèle des membres de la Société ne se refroidira pas, et notre Bulletin formera peu à peu la collection la plus curieuse des progrès de la Physique.

L'état prospère de nos finances nous a permis de mettre à exécution un projet longtemps élaboré, et la Société se trouve maintenant chez elle, à la satisfaction générale. On nous avait prêté une salle de cours, nous avons maintenant un salon de conversation : nous pouvons plus facilement causer entre nous de la science que nous aimons et établir ou resserrer ces relations scientifiques qui nous sont des plus précieuses.

Quoique notre Société soit encore bien jeune, la mort a déjà frappé parmi nous. Nous avons perdu cette année six de nos collègues :

M. Élie de Beaumont, qui s'était empressé, à la fondation de la Société, de venir l'honorer de sa grande illustration scientifique;

M. Guillemin, dont vous vous rappelez les curieuses expériences sur l'induction, et qui comptait parmi les physiciens les plus originaux de ce temps-ci;

M. Lévistal, l'un des meilleurs élèves de Verdet, qu'une maladie terrible avait trop tôt enlevé à la science;

M. Gros, ancien élève de l'École Polytechnique, le professeur si regretté de Sainte-Barbe;

M. le Dr Guérard et M. Gardier, ingénieur des Ponts et Chaussées, que leurs occupations tenaient éloignés de la pratique des sciences physiques, mais qui témoignaient par leur assiduité à nos séances combien ils s'intéressaient à leurs progrès.

En quittant cette présidence que je dois à votre amitié bien plus qu'à mes mérites, laissez-moi, Messieurs, vous dire combien je suis reconnaissant de l'honneur que vous m'avez fait en m'y appelant et vous assurer de mon dévouement profond aux intérêts de notre Société.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ.

Rapport de M. *Melsens* sur la 5e question du concours de 1872 : « On demande une discussion complète de la question de température, etc. »

Notes chimiques et physico-chimiques; par M. *Melsens*. (Extrait du t. XXIII des *Mémoires couronnés et autres Mémoires publiés par l'Académie royale de Belgique*, 1873.)

Recherches sur la persistance des impressions sur la rétine; par M. *Melsens*. (Extrait des *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*, 2e série, t. III, n° 11.)

Indicateur de l'Hérault.

Sur les vibrations transversales des fils et des lames d'une faible épaisseur; par M. *E. Gripon*. (Extrait des *Annales scientifiques de l'École Normale supérieure*, 2e série, t. II.)

De l'influence d'une membrane vibrante sur les vibrations d'une colonne d'air; par M. *E. Gripon*. (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*.)

Faits relatifs à la vibration de l'air dans les tuyaux sonores; par M. *E. Gripon*. (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*.)

Quelques expériences que l'on peut faire à l'aide d'un diapason; par M. *E. Gripon*. (Extrait du *Journal de Physique théorique et appliquée*, t. III, 1874.)

Rivistà scientifico-industriale compilata da *Guido Vimercati*, anno V.

Machina dielettrica del' prof. *Filippo Cecchi*, delle Scuole Pie.

Il termometro e il barometro della Loggia dell' Orgagna in Firenze; par *Filippo Cecchi* (1871).

Nuovo apparato per dimostrare l'eguaglianza della rapidità di caduta di corpi gravi e leggieri; per *Filippo Cecchi* (1872).

Intorno alla prima idea delle caldaie tubolari; Nota di *Guido Vimercati* (1873).

Piccolo motore a vapore e lampada-bilancia del dott. *Sebastiano Zavaglia* (1873).

Il termometro della Loggia dell' Orgagna in Firenze; per *Filippo Cecchi* (1871).

Sulla funzione delle forze; Nota del' dott. prof. *Domenico Cipolletti* (1871).

Sopra la riposta del sig. prof. *Giovani Cantoni* all' osservazioni fatte al suo lavoro sull' elettroforo e la polarizzazione elettrostatica; Nota del dott. *Alberto de Eccher* (1872).

Memoria sullo scopo che si propone, e sui principi su cui si fonda il nuovo autosistema telegrafico; ideato e proposito dagli ingegneri civili *Meardie* e *Garonne* (1872).

Intorno ad un nuovo apparato per la transmissione della forza avuto speciale riguardo alla forza motrice dell' acqua; Nota dell' ingegnere *Antonio Favaro* (1873).

Procès-verbeaux des séances de la Commission internationale du mètre.

Notice historique sur le système métrique, sur ses développements et sur sa propagation; par M. le général *Morin*. (Extrait des *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*.

Statistique des volumes des équivalents chimiques; par M. *Gratien West* (1873).

Mémoire sur l'emploi mécanique de la chaleur; par M. *Gratien West*.

Mémoire sur la mesure de la chaleur; par M. *Gratien West*.

Mémoire sur la gravitation, sur la cohésion et sur les distances entre les centres des molécules; par M. *Gratien West* (1874).

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils.

Météorologie nautique : vents et courants; par MM. *Ch. Ploix* et *Caspari*, ingénieurs hydrographes (1874).

Sifflet électro-automoteur pour locomotives, adopté au chemin de fer du Nord, et autres applications industrielles de l'électro-aimant Hughes; par MM. *Lartigue* et *Forest*.

LISTE

DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABRIA, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
ALBAN FOURNIER (le Dr), à Ramberviller (Vosges).
ALGLAVE, Directeur de la Revue Scientifique, 36, rue Gay-Lussac.
ALLUARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.
ALMEIDA (d'), Professeur au Lycée Henri IV, 31, rue Bonaparte.
ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.
ANDRÉ (Ch.), Astronome adjoint à l'Observatoire de Paris, 145, boulevard Saint-Michel.
ANGOT, Docteur ès sciences, 24, rue Gay-Lussac.
ARCHAMBAULT (J.), Professeur au Lycée Charlemagne, 9, boulevard du Temple.
ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.
AUBOUY, Professeur au Collége de Pézénas.
AUBRY, Professeur au Collége de Chalon-sur-Saône.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 2, rue de Fleurus.
BALARD, Membre de l'Institut, 100, rue d'Assas.
BARON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 44, rue Madame.
BARTHÉLEMY, Professeur au Lycée de Toulouse.
BEAUME, Professeur au Lycée d'Orléans.
BÉCLARD, Professeur à la Faculté de Médecine, Charenton.
BECQUEREL, Membre de l'Institut, au Muséum.
BECQUEREL (Ed.), Membre de l'Institut, au Muséum.
BENEVIDES (**Francisco da Fonseca**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).
BERGON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 34, rue Madame.
BERTHELOT, Membre de l'Institut, 57, boulevard Saint-Michel.
BERTHOLOMEY, Professeur au Collége de Tulle.
BERTIN, Sous-Directeur de l'École Normale, rue d'Ulm, 45.
BERTRAND, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 9, rue des Saints-Pères.
BÉTHUNE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

MM.

BICHAT, Professeur au Lycée de Versailles, 65, rue de Montreuil.
BILLET, Professeur à la Faculté de Dijon.
BLAVIER, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes, 20, rue de Rome.
BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.
BONTEMPS, Directeur des transmissions télégraphiques.
BOUCHER, Préfet des Études au Collége Chaptal.
BOUDRÉAUX, ancien Professeur de Physique, 53, rue du Bac.
BOUDRÉAUX, Préparateur de Physique au Lycée Henri IV, 8, rue des Écoles.
BOULANT, Professeur au Lycée d'Alençon.
BOURBOUZE, Préparateur à la Faculté des Sciences, 39, rue Descartes.
BOURDON, Ingénieur-Mécanicien, 74, rue du Faubourg-du-Temple.
BOURGET, Directeur des Études, à Sainte-Barbe.
BOUTAN, Inspecteur général de l'Université, 4, rue Madame.
BOUTET DE MONVEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 54, rue de Rivoli.
BOUTY, Professeur au Lycée de Reims, 15, rue Colbert.
BRANLY, Répétiteur à l'École des Hautes Études, 58 *bis*, rue Gay-Lussac.
BRÉGUET, Membre de l'Institut, 39, quai de l'Horloge.
BREGUET (**Antoine**), 39, quai de l'Horloge.
BRION, Professeur au Lycée Saint-Louis, 27, boulevard Saint-Michel.
BRIOT, Professeur à la Faculté des Sciences, 46, boulevard Saint-Michel.
BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, rue d'Enfer.
BRUNHES, Professeur au Lycée de Toulouse, 56, quai de Tounis.
BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

CABART, Examinateur à l'École Polytechnique, 143, boulevard Saint-Michel.
CAILLETET, Manufacturier, Châtillon-sur-Seine.
CAQUÉ, Professeur au Lycée Saint-Louis, 83, rue Notre-Dame-des-Champs.
CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.
CAVALLIÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.
CAZIN, Professeur au Lycée Fontanes, 54, rue d'Enfer.
CHARLIER, Professeur au Collége de Dunkerque.
CHARLON, Directeur de *la Confiance*, 21, rue de Grammont.
CHAUTARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.
CIVIALE (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.
CORNU, Professeur à l'École Polytechnique, 10, boulevard Saint-Michel.
COULIER, Professeur au Val-de-Grâce, 26, rue Gay-Lussac.
COUPIER, Fabricant de produits chimiques, à Creil.
CROIX, Préparateur de Physique au Lycée d'Orléans.
CROVA, Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

DANIEL, Professeur à l'École Centrale, 67, rue du Cardinal-Lemoine.
DEBRAY, Professeur à la Faculté des Sciences, 76, rue d'Assas.
DECHARME, Professeur au Lycée d'Angers.
DEDET, Professeur au Lycée d'Albi.

MM.

DEHÉRAIN, Professeur à l'École de Grignon, 15, rue de Madrid.
DELESTRÉE, Professeur au Lycée de Mont-de-Marsan.
DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.
DELEVEAU, Professeur au Lycée de Montauban.
DELHAYE, Professeur au Lycée de Saint-Omer.
DESCHANEL, Proviseur du Lycée de Vanves.
DESCHIENS, Constructeur d'instruments de Physique, 123, boulevard Saint-Michel.
DESPLATS, Agrégé de l'École de Médecine, 232, rue de Rivoli.
DESPRATS, Professeur au Collége de Lodève.
DOULIOT, Principal du Collége de Châtillon-sur-Seine.
DUBOSCQ, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
DUCLAUX, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.
DUCLOS, Professeur au Collége de Béziers.
DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue des Ursulines.
DUPAIGNE, Professeur au Collége Stanislas, 172, boulevard Montparnasse.
DUPRÉ, Professeur au Lycée Charlemagne, 44, boulevard Beaumarchais.

ÉLIE, Professeur au Collége d'Abbeville.

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Henri IV, 13, rue Boissière.
FERNET, Répétiteur à l'École Polytechnique, 93, rue des Feuillantines.
FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.
FONTAINE (**Hippolyte**), 52, rue Saint-Georges.
FOURNIER (**Félix**), 2, rue de Châteaudun.
FRIEDEL, Conservateur à l'École des Mines, 60, boulevard Saint-Michel.
FRON, Astronome adjoint à l'Observatoire, 127, boulevard Saint-Michel.

GAIFFE, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.
GARBAN, Professeur au Lycée de Clermont-Ferrand.
GARDIER, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 17, boulevard du Temple.
GARIEL, Agrégé de l'École de Médecine, 41, rue des Martyrs.
GARRAN DE BALZAN, Docteur en Médecine, 53, rue Censier.
GAVARRET, Professeur à l'École de Médecine, 73, rue de Grenelle-Saint-Germain.
GAY, Professeur au Lycée d'Amiens, 1, rue Basse-Notre-Dame.
GAYON, Préparateur-agrégé à l'École Normale supérieure.
GERNEZ, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 105, boulevard Saint-Michel.
GIRARD (**Ch.**), Manufacturier à Ris-Orangis (Seine-et-Oise).
GIRARD (**M.**), Professeur au Collége Rollin, 9, rue Thenard.
GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 90, rue des Feuillantines.
GIROUD (**D.**), Constructeur de régulateurs à gaz, 27, rue des Petits-Hôtels.

MM.

GOLAZ, Constructeur d'instruments de Physique, 24, rue des Fossés-Saint-Jacques.
GOSSIN, Proviseur du Lycée de Toulon.
GRÉHANT, Professeur suppléant à la Faculté des Sciences de Paris, 74, rue des Feuillantines.
GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.
GRIVEAUX, Professeur au Lycée d'Avignon, 21, rue Saunerie.
GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, quai de la Sinne, Mulhouse.
GUELPA, Principal du Collége de Sétif.
GUILLEBON (**de**), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 8, cloître Saint-Étienne, Orléans.

HOLLANDE, Professeur au Lycée de Bastia.
HURION, Préparateur de Physique au Collége de France.

ISAMBERT, Professeur à la Faculté de Poitiers.

JAMIN, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.
JANDEAU, Professeur au Collége de Turcoing.
JANNIN, Professeur au Lycée d'Albi, 9, rue Mariès.
JANSSEN, Membre de l'Institut, 33, rue Labat.
JOLY, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).
JOUBERT, Professeur au Collége Rollin, 48, rue Gay-Lussac.
JUNGFLEISCH, Conservateur des collections, à l'École Polytechnique.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 30, rue Hautefeuille.
KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

LALLEMAND, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.
LAMY, Professeur à l'École Centrale, 77, boulevard Saint-Michel.
LAPLAICHE, Professeur au Lycée de Dijon, 3, rue de Lamonnoye.
LAURENT, Constructeur d'Instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
LAVIÉVILLE, Professeur au Lycée de Dijon.
LE BOSSÉ (**l'Abbé**), Professeur à l'Institution Richelieu de Luçon (Vendée).
LECARME, Professeur au Collége Chaptal, 87, rue Saint-Pétersbourg.
LECHAT, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 83, boulevard Saint-Michel.
LEMOINE (**E.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 55, rue du Cherche-Midi.
LEMOINE (**G.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 19, rue du Sommerard.
LE ROUX, Répétiteur à l'École Polytechnique, 4, rue de Braque.
LESCHI, Professeur au Collége de Corte.
LEVY (**Armand**), Professeur de Physique au Lycée d'Orléans.
LEVY, Chef d'Institution, 10, rue Amyot.
LIPPMANN, ancien Élève de l'École Normale, 59, rue des Feuillantines.
LISLEFERME, Ingénieur en retraite, à Rochefort.
LISSAJOUS, Recteur de l'Académie de Chambéry.

MM.

LUCIANI, Professeur au Collége d'Ajaccio.
LUYNES (**de**), Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, 61, rue de Vaugirard.

MANGIN, Commandant du Génie, 13, avenue Lowendal.
MARC, Maître répétiteur au Lycée de Mont-de-Marsan.
MARÉCHAL, Professeur au Lycée de Marseille.
MAREY, Professeur au Collége de France, 13, rue Duguay-Trouin.
MARIÉ-DAVY, Directeur de l'Observatoire météorologique de Montsouris.
MARTIN (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.
MASCART, Professeur au Collége de France, 7, rue Malebranche.
MASSE, Professeur au Collége de Brive.
MASSON (**G.**), 17, place de l'École-de-Médecine.
MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, rue Vavin.
MELSENS, Membre de l'Académie des Sciences de Belgique, à Bruxelles.
MERCADIER, Ingénieur des télégraphes, 27, rue Caumartin.
MEUNIER-DOLLFUS, Ingénieur en chef de l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur, à Mulhouse.
MONCEL (**du**), Membre de l'Institut, 7, rue de Hambourg et à Lebisey (près Caen).
MOREAU, Chef des Travaux physiologiques au Muséum, 55, rue de Vaugirard.
MORIN (**Henry**), 32, rue Gay-Lussac.
MOROT, Professeur à Sainte-Barbe, 28, rue Tournefort.
MOUTIER, Professeur à Sainte-Barbe, 13, rue Gay-Lussac.
MOUTON, Préparateur à l'École Normale.

NEYRENEUF, Professeur au Lycée de Caen.
NIAUDET-BRÉGUET, Constructeur d'instruments de précision, 6, rue de Seine.

OGIER, 11, boulevard du Temple.

PASSOT (**Dr**), Aide-Major au 103e de Ligne à Rueil.
PATIN, Professeur au Collége Stanislas, 43, rue Madame.
PERNET, Professeur au Lycée de Troyes.
PÉROT, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.
PHILIPPON, Secrétaire de la Faculté des Sciences de Paris, à la Sorbonne.
PICHOT, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 3, boulevard du Palais.
PLANTÉ (**Gaston**), 56, rue des Tournelles.
POIRÉ, Professeur au Lycée de Versailles, 60, boulevard Malesherbes.
POTIER, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue de Boulogne.
PROTCHE (**le Colonel**), Commandant en second de l'École Polytechnique.
PUJALET, Préparateur au Collége Rollin, 74, rue des Feuillantines.

QUET, Inspecteur général de l'Université, 37, rue Madame.

RAULX, Directeur des télégraphes, à Auch.
RAYET, Professeur à la Faculté de Marseille.

MM.

RAYNAUD, Sous-Inspecteur des Lignes télégraphiques, 5, place Sorbonne.
REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.
ROMILLY (**de**), 8, rue de Madrid.
ROMMIER, 6, place Saint-Sulpice.
ROSENSTIEHL, Chimiste, 8, Chaussée Dornach.
RUHMKORFF, Constructeur, 13, rue Champollion.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Membre de l'Institut, 7, rue Taranne.
SAINT-LOUP, Professeur à la Faculté de Besançon.
SALET, Préparateur à la Faculté de Médecine, 84, boulevard Saint-Germain.
SCHAEFFER, Chimiste à Dornach, près Mulhouse.
SCHNEIDER (**Théodore**), Professeur de Physique, 1, rue du Siphon, Mulhouse.
SCHŒFFER, Professeur au Collége de Béziers.
SIDOT, Préparateur au Lycée Charlemagne, 120, rue Saint-Antoine.
SOBAUX (**l'Abbé**), Professeur au Petit Séminaire de Paris, 19, rue Notre-Dame-des-Champs.
STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

TEISSIER, Agrégé, à Toulon.
TERNANT, Représentant de la Cie de l'Eastern Telegraph, 8, rue Pavé-d'Amour, Marseille.
TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.
THENARD (**Arnould**), 6, place Saint-Sulpice.
TORTEL, Professeur au Lycée de Grenoble.
TRANIN, ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille.
TRIPIER (**le Dr**), 6, rue Louis-le-Grand.
TURIÈRE, Professeur au Collége de Béziers.

VAN MALDEREN (**J.**), Constructeur d'appareils électro-magnétiques, 67, avenue de Wagram.
VAZEILLE, Professeur à Sainte-Barbe, 8, rue Gay-Lussac.
VERMEILLE, Professeur au Collége de Cambrai.
VIGNES, Professeur au Collége Chaptal, 15, rue Véron.
VILLIERS (**Antoine**), 8, rue du Havre.
VIMERCATI (**G.**), Directeur de la *Rivista scientifico-industriale*, 49, Corso Tintori, Florence (Italie).
VIOLLE, Professeur à la Faculté de Grenoble.
WEST, Intendant militaire en retraite, 13, rue Bonaparte.
WOLF, Astronome à l'Observatoire de Paris, 7, rue Bréa.
WOLFF, Facteur de pianos, 22, rue Rochechouart.

XAMBEU, Professeur au Collége de Saintes.

Mars 1875.

Les personnes dont le nom ou l'adresse ne sont pas correctement inscrits sont priées de transmettre les rectifications au Secrétaire général de la Société.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Séance du 9 janvier 1874 1

Séance du 23 janvier 1874 3

Note sur un nouveau chronographe; par M. *E. Marey* 4

Séance du 13 février 1874 6

Nouveau saccharimètre; par M. *Laurent* 7

Du mouvement de l'air dans les tuyaux; par M. *Ch. Bontemps* 10

Séance du 27 février 1874 15

Sur la transformation de l'achromatisme optique des objectifs en achromatisme chimique; par M. *A. Cornu* 16

Séance du 13 mars 1874 22

Sur la trempe des verres; par M. *Mascart* 23

Note sur l'examen des cordes des instruments à archet; par M. *Coulier* .. 27

De la résistance de l'air sous l'aile de l'oiseau pendant le vol; par M. *E. Marey* 29

Séance du 27 mars 1874 34

Appareil télégraphique à transmissions multiples par le même fil; par M. *Meyer* 35

Sur la production artificielle des matières organiques douées du pouvoir rotatoire. — Préparation des acides tartriques droit et gauche en partant du gaz oléfiant; par M. *E. Jungfleisch* 42

Séance du 10 avril 1874 46

Lumière monochromatique rendue intense; par M. *Laurent* 46

Note historique sur l'inscription des vibrations; par M. *Melsens* 47

Séance du 24 avril 1874 48

Recherches physico-chimiques sur les gaz et les liquides condensés par le charbon poreux; par M. *Melsens*. (*Séance du* 9 *janvier* 1874) .. 49

Expériences électrocapillaires; par M. *Lippmann* 53

PAGES.

SÉANCE DU 8 MAI 1874 56

Sur une nouvelle pile thermo-électrique; par M. *C. Clamond* 56

Notice sur l'appareil Duboscq pour projeter les expériences de polarisation; par M. *Bertin* 62

SÉANCE DU 22 MAI 1874 83

SÉANCE DU 12 JUIN 1874 84

Note sur le levier à réflexion; par M. *A. Cornu* 85

SÉANCE DU 26 JUIN 1874 92

Recherches sur l'étincelle d'induction et les électro-aimants. — Application aux chronographes électriques; par M. *Marcel Deprez* 93

SÉANCE DU 10 JUILLET 1874 96

Sur la transformation de l'électricité statique en électricité dynamique; par M. *Bichat* 97

SÉANCE DU 4 DÉCEMBRE 1874 100

Procédé pour obtenir en projection les raies des métaux et leur renversement; par M. *Boudréaux* 101

SÉANCE DU 18 DÉCEMBRE 1874 105

Détermination de la vitesse de la lumière et de la parallaxe du Soleil; par M. *A. Cornu* 106

ALLOCUTION DE M. BERTIN 113

LISTE DES MEMBRES 115

2032 Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.

~~AUG -7 1934~~

~~AUG 8 1934~~